КОТ ШРЕДИНГЕРА

БРУНО ПОНТЕКОРВО

АТОМНЫЙ ПРОЕКТ

ЖИЗНЬ ЗА «ЖЕЛЕЗНЫМ ЗАНАВЕСОМ»

СОЗДАТЕЛЬ НАУКИ О НЕВИДИМОМ

SHOUT
SHARE
IT

Annotation

Ученик великого Э. Ферми, сотрудник Ф. Жолио-Кюри, почетный член Итальянской академии деи Линчей Бруно Понтекорво родился в Италии, работал во Франции, США, Канаде, Англии, а большую часть своей жизни прожил в России. Бруно Понтекорво известен как один из ведущих физиков эпохи «холодной войны». В то время, как главы государств мечтали о мировом господстве, которое им подарит ядерное оружие, лучшие ученые всего мира боролись за «ядерное равновесие» и всеми возможными способами старались не разрывать прочные научные связи, помогавшие двигать науку вперед. Понтекорво до последних дней жизни поддерживал дружбу со своим учителем, одним из ведущих ученых «Манхэттенского проекта» Энрико Ферми, а также вел переписку с другими участниками проекта. Воспоминания этого ученого полны необычными деталями, описывающими закрытую и даже засекреченную жизнь ядерных физиков середины XX века. Интересная и наполненная яркими событиями судьба, исключительный ум и независимые взгляды позволили ученому создать ряд статей, описывающих мир с простой и понятной точки зрения физика. Именно они вместе с воспоминаниями о жизни в Штатах и СССР, и составили основу этой книги.

- Бруно Понтекорво
  - Una nota autobiografica
  - Возвращение на улицу Панисперна[1]
  - Энрико Ферми
    -
    - Юность
    - Письмо инженера Амидея профессору Э. Сегре
    - Университетские годы
    - Первые годы после университета
    - Университетская карьера
    - Создание итальянской школы физики
    - Научная деятельность в Риме
    - Жизнь Ферми в Риме
    - Атомная энергия
    - Последний период научной деятельности
  - И. Я. Померанчук и начало физики высоких энергий[19]
  - Физика элементарных частиц — дорогая вещь! Нужна ли она?

- Я не абсолютно уверен, что «загадка солнечных нейтрино» реально существует
- Загадочные нейтрино
- Нейтрино в лаборатории и во вселенной
  -
  - Почему физики-теоретики придумали нейтрино
  - Как физики-экспериментаторы «поймали» нейтрино
  - Сильные и слабые взаимодействия элементарных частиц
  - Действительно ли нейтрино нейтрально?
  - Какова природа этого заряда?
  - Нейтрино высоких энергий
  - Нейтрино и звезды
  - Солнечные нейтрино
  - Нейтрино и антимиры
  - Нейтринные «телескопы»
- Открытие медленных нейтронов: некоторые воспоминания[20]
- С. С. Герштейн
- Ж.Лаберриг-Фролова[26]
  - Бруно Понтекорво и Париж
  - Пребывание в Париже
  - Работы по ядерной изомерии
  - Ядерная фосфоресценция
  - Друзья в Париже
  - Связи после 1944 г
  - Визит в лабораторию
  - История науки
  - Снова в Париже
- Г. Пираджино
- П. Стролин

- notes
  - 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5
  - 6
  - 7
  - 8
  - 9
  - 10
  - 11

- ○ 12
- ○ 13
- ○ 14
- ○ 15
- ○ 16
- ○ 17
- ○ 18
- ○ 19
- ○ 20
- ○ 21
- ○ 22
- ○ 23
- ○ 24
- ○ 25
- ○ 26
- ○ 27
- ○ 28
- ○ 29
- ○ 30
- ○ 31
- ○ 32
- ○ 33

Бруно Понтекорво
Атомный проект. Жизнь за «железным занавесом»

Una nota autobiografica

От моего учителя Энрико Ферми я много раз слышал, что амбиции увеличиваются с возрастом. То, как я пришел к тому, чтобы написать эти автобиографические заметки, служит доказательством справедливости этого утверждения. Уже в течение многих лет научно-технические выпуски, издаваемые издательством Арнольдо Мондадори в рамках серии «Современные ученые и технологи», объединяют биографии многих ученых, включая некоторых моих знакомых и мою собственную. Новый подход этого издания состоял в том, что в большинстве случаев биографии ученых были написаны ими самими, т. е. это были автобиографические заметки. В моем же случае была опубликована биография, так как, насколько я помню, я ответил категорическим отказом на просьбу редактора прислать автобиографию, да еще снабженную собственными фотографиями. В то время я считал, что выполнить такую просьбу было бы актом чудовищного тщеславия. Спустя много лет я спокойно пишу автобиографические заметки и посылаю свои фотографии, доказывая тем самым, что «амбиции увеличиваются с возрастом».

* * *

Родился я в городе Пизе в 1913 г. в благополучной многодетной семье: отец — промышленник, мать — дочь врача, пять братьев и три сестры, из которых наиболее известны биолог Гуидо и кинорежиссер Джилло.

Бруно Максимович Понтекорво (1913–1993) — итальянский и советский физик, академик АН СССР, иностранный член Национальной академии деи Линчеи (1981). Лауреат Ленинской премии (1963) и Сталинской премии (1953)

Родители, люди консервативные, были довольно авторитарны

и имели весьма определенное мнение (которое скрывали) о каждом из нас, о чем я узнал, подслушивая и делая выводы: по их мнению, Гуидо был самым умным из детей, Паоло — самым серьезным, Джулиана — самой воспитанной, Бруно — самым добрым, но и самым ограниченным, что было видно по его глазам, добрым, но лишенным ума… Думаю, что этому мнению я обязан своей застенчивостью, комплексом неполноценности, который преследовал меня почти всю мою жизнь.

Хочу подчеркнуть, что большое влияние на мое формирование имела глубокая любовь отца к справедливости. Вот характерный и занятный эпизод. Мой отец очень уважал некоего человека по имени Данило, рабочего с фабрики Понтекорво, который в начальный период фашизма организовал забастовку. В связи с этим к моему отцу пришел чиновник (впоследствии ставший министром внутренних дел Республики Сало) — Гуидо Буффарини Гуиди, который хотел узнать имена «зачинщиков» забастовки. На отказ моего отца быть шпионом Буффарини вызвал его на дуэль (которая, к счастью, не состоялась). Этот эпизод с дуэлью очень нас развеселил и еще более укрепил наше уважение к отцу.

В школе я учился умеренно хорошо, но самым важным делом в моей жизни был теннис, настоящим знатоком которого я до сих пор с гордостью себя считаю. Я поступил на инженерный факультет Университета в Пизе, и в течение двух лет у меня были приличные отметки. Однако мне не нравилось черчение, и я решил бросить технику и перейти на третий курс физического факультета. Мой брат Гуидо авторитетно меня поддержал: «Физика! Значит, тебе придется ехать в Рим. Там находятся Ферми и Разетти!» Я поехал в Рим, где Ферми и Разетти устроили мне неофициальный экзамен. После экзамена, во время которого я, очевидно, показал весьма посредственные знания, Ферми высказал некоторые замечания, которые определили выбор моей профессии и которые стоит здесь привести: «Физика одна, но, к несчастью, сегодня физики делятся на две категории — теоретиков и экспериментаторов. Если теоретик не обладает исключительными способностями, то его работа лишена смысла. Что же касается экспериментальной физики, здесь существует возможность полезной работы, даже если человек обладает средними способностями».

Итак, я поступил на третий курс физико-математического факультета Римского университета, причем подразумевалось, что в будущем я должен заниматься исследованиями экспериментального свойства. Это оказалось самым важным событием в моей научной жизни: сначала как студент, а потом

как сотрудник, с 1931 по 1936 г. я оказался в группе, руководимой Ферми (группе парней с улицы Паниперна, как ее окрестили журналисты: Ферми, Разетти, Амальди, Сегре…). Ферми не только учил физике своих учеников. Личным примером он передал им свою глубокую страсть к физике, в которой прежде всего любил и подчеркивал простоту. Он учил понимать дух и этику науки. У Ферми я научился презирать научный авантюризм и субъективизм, не одобрять атмосферу «охоты за открытиями», царящую в некоторых исследовательских институтах, и относиться с антипатией к тем, кто в физике усложняет, вместо того чтобы упрощать. Те, кому посчастливилось заниматься исследованиями вместе с Ферми и работать под его руководством, всегда вспоминают его как непогрешимого «папу» физиков, как его называли сотрудники института.

Я защитил диплом в 1933 г., в двадцать лет. После чего я стал ассистентом Орсо Марио Корбино и принял участие в экспериментальных исследованиях Ферми и его группы, в частности в открытии медленных нейтронов. Эти исследования открыли дорогу известным практическим применениям нейтронов (ядерной энергии, изотопам в медицине и, что достойно позора, войне).

Вот следствия этих исследований для некоторых членов группы Ферми: они принесли Нобелевскую премию Ферми, определенная слава досталась даже младшему участнику группы, все получили патент на изобретение, который спустя много лет был продан правительству Соединенных Штатов Америки за внушительную сумму, давно уже выплаченную изобретателям (всем, кроме меня), мне была присуждена премия Министерства национального образования, благодаря которой я поехал в 1936 г. в Париж работать с Ф. Жолио-Кюри.

В Институте радия, а потом в Коллеж де Франс я заинтересовался ядерной изомерией, над которой работал практически в одиночку (пользуясь ценными советами моего второго учителя Ф. Жолио), движимый некоторыми своими теоретическими идеями. Я предсказал существование стабильных (относительно бета-радиоактивности) ядерных изомеров и экспериментально нашел (1938 г.) первый пример: кадмий, возбужденный быстрыми нейтронами. Я предсказал, что переходы между изомерами, в общем, должны иметь очень большие коэффициенты внутренней конверсии, и независимо, но несколько раньше Г. Сиборга и Э. Сегре, занялся поиском и нашел (1938 г.) на примере родия, а также в других случаях, радиоактивные ядра нового типа в том смысле, что они распадаются, испуская монохроматическую линию электронов

вместо обычного непрерывного бета-спектра. Наконец, совместно с А. Лазардом мне удалось получить (1939 г.) бета-стабильные изомеры (^{115m}In и другие) путем облучения стабильных ядер (^{115}In и других) непрерывным спектром рентгеновского излучения высокой энергии (3 МэВ). Ф. Жолио очень понравился этот эффект, и он назвал его «ядерной фосфоресценцией». Я послал свою работу, посвященную «фосфоресценции», Ферми, который, хотя и не был человеком, склонным к похвале, поздравил меня «с отличным результатом исследования». Это долго доставляло мне огромное удовольствие, поскольку я был убежден, что Ферми (который в Риме привык называть меня «большим чемпионом») имел некоторое уважение ко мне только как к эксперту по теннису. За исследование изомерии я получил премию Кюри — Карнеги.

В Париже я женился на шведской девушке. У нас трое сыновей; старший родился в Париже, он сейчас физик; двое других родились в Канаде, один — океанолог, другой — инженер по электронной технике. Сегодня мы все живем в Москве и Дубне.

В 1940 г., после поражения Франции, я поступил на работу в частную американскую фирму и поехал в Оклахому (США), где в течение двух лет занимался реализацией геофизического метода зондирования нефтяных скважин, так называемого метода нейтронного каротажа, который до сих пор продолжает играть заметную роль в экономике нефтяных полей во всем мире. Кстати, нейтронный каротаж, мной изобретенный и реализованный на практике, занимает первое место в хронологии важных практических применений нейтрона (1941 г.). Денег, однако, я заработал очень мало, поскольку, как раз когда посыпались выгодные предложения частных фирм, я решил принять предложение занять место исследователя в англо-франко-канадском атомном проекте, в котором работали многие известные ученые, с которыми я был знаком; среди них были К. Оже, Б. Гольдшмидт, Х. Халбан, Л. Коварский, Г. Плачек. По всей видимости, мне не суждено заработать деньги на патентах, изобретениях и прочих подобных вещах. Мое знакомство с нейтронами, обретенное на ул. Паниперна, существенно помогло мне во время работы на нефтяных полях и еще больше в период с 1943 по 1948 г., когда я работал в Канаде (сначала в Монреале, а потом в Чок-Ривере) над проектом и введением в строй ядерного реактора NRX (обычный уран и тяжелая вода) в качестве научного руководителя физического проекта. Этот реактор был спроектирован как исследовательский реактор на максимальную интенсивность и максимальный поток тепловых нейтронов, равный $6 \cdot 10^{13}$ см$^{-2} \cdot$ с$^{-1}$. Знание физики реакторов оказалось

весьма полезным, когда я начал планировать эксперименты с целью зарегистрировать нейтрино и антинейтрино в свободном состоянии.

Как раз в Канаде я начал исследования в области физики элементарных частиц, которые потом были продолжены в России, куда мы с семьей переехали в сентябре 1950 г. (после короткого пребывания в Харуэлле в Англии).

Тогда, как и сегодня, я считал ужасно несправедливым и аморальным крайне враждебное в конце войны отношение Запада к Советскому Союзу, который за счет неслыханных жертв внес решающий вклад в победу над нацизмом; что же касается моих политических убеждений, я коротко коснусь их в конце этих заметок. С 1950 г. и по сей день я работаю в Дубне в качестве руководителя отдела экспериментальной физики в Лаборатории ядерных проблем.

Как только я узнал о классическом эксперименте М. Конверси, Е. Панчини и О. Пиччиони (1947 г.), из которого следовало, что взаимодействие мюона и протона не является сильным, я интуитивно почувствовал глубокую аналогию между мюоном и электроном, на что меня натолкнуло мое наблюдение, что процессы захвата этих частиц ядром имеют сравнимые вероятности (если принять во внимание разницу между объемами, которые занимают мюонные и электронные орбиты). Так, я тогда предсказал, что в процессе захвата мюона должно принимать участие нейтрино согласно следующей схеме: $\mu + p \rightarrow \nu + n$. Идея глубокой аналогии между различными процессами привела к понятию «слабого взаимодействия» и была выражена мной (1947 г.) и впоследствии О. Клейном и Г. Пуппи (1948 г.). Эта аналогия служит отправной точкой для универсальной теории слабых взаимодействий Ферми. Ведомый этой аналогией, я предложил и выполнил несколько экспериментов, в которых были установлены различные фундаментальные свойства мюона: установлено отсутствие процесса $\mu^+ \rightarrow e^+ + \gamma$; показано, что заряженная частица, испускаемая при распаде мюона, является электроном; показано, что при распаде мюона испускаются три частицы; найдено, что зависимость асимметрии электронов, испущенных поляризованными мюонами, от энергии соответствует теории двухкомпонентного нейтрино; доказана «нейтринная» природа нейтральных частиц, испускаемых при захвате мюона ядром (эксперимент выполнен с помощью регистрации и количественного анализа реакции $\mu + {}^3He \rightarrow \nu_\mu + {}^3H$, про исходившей в диффузионной камере, наполненной ^3He). Первые три результата были получены (и отмечены премией Королевского общества Канады) в 1948–1949 гг. совместно с Э. П.

Хинксом во время работы в Чок-Ривере с космическими мюонами, а последние два были получены в 1958 г. совместно с А. Мухиным и в 1961 г. совместно с Р. Суляевым и др. на пучках искусственных мюонов синхроциклотрона. Найденная величина вероятности захвата мюона в ^{3}He подтвердила исходную идею мюон-электронной симметрии. В эксперименте другого типа, выполненном в Дубне с искусственными мюонами, мы открыли (1959 г.) явление безрадиационных переходов в мю-мезоатомах — новое явление, в котором энергия $2P-1S$ мюонного перехода непосредственно возбуждает атомное ядро без испускания мюонного рентгеновского гамма-кванта, соответствующего этому переходу.

Все работы периода 1951–1954 гг. опубликованы в виде внутренних отчетов, некоторые из них были впоследствии опубликованы в открытой печати (1955 г.). В 1951 г. я заметил явное противоречие между большой вероятностью рождения некоторых частиц (которые сегодня, кстати, называют странными) и их большим средним временем жизни и в 1953 г. независимо от А. Пайса предсказал закон ассоциативного рождения К-мезонов совместно с гиперонами. В одном моем эксперименте, выполненном совместно с Г. Селивановым и др. (1955 г.), было показано, что нуклоны с энергией 700 МэВ не вызывают реакций $N \rightarrow N + \Lambda^0$ и $n + n \rightarrow \Lambda^0 + \Lambda^0$, где n, N, Λ^0 обозначают нуклоны, нейтроны и Λ^0-гипероны. Отсутствие первой реакции противоречило ошибочному результату, полученному М. Шеиным и считавшемуся в то время правильным, и подтверждало закон, упомянутый выше; отсутствие второй реакции, хотя тоже противоречило эксперименту Шеина, подвело меня к заключению, что изотопический спин каона равен 1/2 (т. е. что K^0 и K^{-0}-мезоны не являются одинаковыми объектами).

Анализируя совместно с Л. Окунем осцилляции типа осцилляций между K^0 и K^{-0}, мы показали (1957 г.), что в слабых процессах первого порядка странность не может меняться более чем на единицу ($\Delta S \leq 1$).

В 1959 г. я заметил, что нейтрино высоких энергий, испущенные при распадах пионов, рожденных на современных ускорителях, могут (и должны!) быть использованы для расширения наших знаний в области слабых взаимодействий, и в этой связи я предложил некоторые эксперименты. В частности, я показал, что можно экспериментально решить проблему, являются ли нейтрино, испущенные при распаде пиона (ν_e), и нейтрино, испущенные в обычном бета-процессе (ν_μ), тождественными частицами. Таким образом, моя работа «Электронные и мюонные нейтрино» (1959 г.) явилась началом

физики нейтрино высоких энергий. Как известно, эксперимент, выполненный несколько лет спустя в Соединенных Штатах, показал, что существует по крайней мере два разных сорта нейтрино. Из-за отсутствия в то время в Советском Союзе адекватных ускорителей я не мог выполнить первые эксперименты на уровне слабых взаимодействий. Тем не менее совместно с В. Векслером и др. мы выполнили первое экспериментальное исследование, в котором использовались нейтрино высоких энергий (хотя и относительно низкой интенсивности): используя синхрофазотрон ОИЯИ, мы пытались обнаружить возможность существования аномального взаимодействия мюонного нейтрино с нуклоном, т. е. пытались обнаружить реакцию $\nu_\mu + N \rightarrow \nu_\mu + N$ на уровне вероятности, на несколько порядков превышающем соответствующую вероятность слабых процессов. В работе, которая дала отрицательный результат, впервые было отмечено, что именно эксперименты такого типа, естественно, намного более чувствительные, должны дать ответ на вопрос о существовании или отсутствии так называемых нейтральных слабых токов. Как известно, существование нейтральных токов было открыто в ЦЕРН в 1973 г. в эксперименте, в котором были использованы интенсивные пучки нейтрино высоких энергий. За исследования в области физики слабых взаимодействий и нейтрино в 1963 г. мне была присуждена Ленинская премия.

Когда в конце 1950 г. я приехал в Россию, в Дубне уже некоторое время назад был введен в эксплуатацию синхроциклотрон, который в то время был самым мощным в мире. Теперь я коротко коснусь некоторых исследований в области сильных взаимодействий (1950–1976 гг.). Используя этот ускоритель, мы в сотрудничестве с Г. Селивановым впервые обнаружили и изучили количественно рождение нейтральных пионов в столкновениях нейтронов с протонами и в столкновениях нейтронов с различными атомными ядрами. За эти исследования в 1953 г. нам была присуждена Государственная премия. Итак, вместе с А. Мухиным и С. Коренченко я отдался экспериментальному исследованию взаимодействия между пионами и нуклонами, независимо, хотя и позже, подтвердив при этом то, что было с громадным успехом получено Э. Ферми и др. в Чикаго с пион-нуклонной системой, имевшей угловой момент 3/2 и изотопический спин 3/2. Вместе с моим сотрудником А. Куликовым позже (1976 г.) на большом серпуховском ускорителе (70 ГэВ) мы провели эксперимент, давший отрицательный результат, в поисках ядерных изомеров плотности, существование которых возможно согласно идее

пионной конденсации в ядрах. Наконец, я хотел бы упомянуть метод регистрации «прямых» нейтрино (т. е. рожденных не при распаде пионов и каонов, а при распаде частиц с очень коротким средним временем жизни), предложенный мной для изучения рождения новых частиц при столкновениях нуклонов с ядрами (эксперимент типа «beam dump»). Применения метода в случае рождения частиц с очарованием обсуждались мной (1975 г.) еще раньше обнаружения самих частиц с очарованием. И сам метод был использован при открытии (ЦЕРН) рождения частиц с очарованием в столкновениях нуклонов с ядрами.

Бруно Понтекорво с женой Марианной. Париж. 1938 г.

Проблемам, связанным с массой нейтрино и нарушением лептонного заряда, я посвятил серию теоретических работ, в которых обсуждаются чрезвычайно маловероятные процессы, как, например, переходы мюоний — антимюоний, двойной бета-распад без испускания нейтрино (возможно, вызванный новым, сверхслабым, взаимодействием первого порядка, при котором леитонный заряд не сохраняется), процессы типа $\mu^+ \to e^+ + \gamma$,

осцилляции между различными нейтринными состояниями. В моей работе «Мюоний и антимюоний» (1957 г.) впервые обсуждается возможность переходов $(\mu^+ e^-) \rightarrow (\mu^- e^+)$, и эти рассуждения подтолкнули многих физиков к обсуждению различных форм, которые могло бы принять нарушение лептонного заряда. В той же работе я впервые рассматривал осцилляции между различными состояниями нейтрино, которые могут иметь место, если массы нейтрино не все тождественно равны нулю. Над проблемой нейтринных осцилляций, которой я посвятил много теоретических исследований, я продолжаю работать и сейчас. Исследования осцилляций нейтрино, выполненные либо только мной, либо в сотрудничестве с С. Биленьким и В. Грибовым, открыли новые области исследования в физике частиц и в астрофизике и привели к зарождению большого количества теоретических и экспериментальных поисков во всем мире, причем действующими лицами были как искусственные нейтрино, полученные с помощью мощных радиоактивных источников, ядерных реакторов и ускорителей, так и естественные нейтрино, солнечные и космические. Подчеркну два момента, представляющих большой интерес:

1) большую чувствительность метода осцилляций нейтрино для обнаружения исключительно маленькой разницы между массами нейтрино;

2) решающее значение, понятое мной уже в 1967 г., существования или отсутствия осцилляций нейтрино для интерпретации будущих наблюдений солнечных нейтрино.

Электронные нейтрино ν_e, выходящие из Солнца, могут на своем пути к Земле превратиться в «стерильные» нейтрино, которые невозможно обнаружить с помощью детектора ν_e, что приведет к кажущемуся ослаблению интенсивности солнечных нейтрино. Такое ослабление зависит от количества нейтрино, от их массы и от углов смешивания. Огромное расстояние от Солнца до Земли и относительно низкая энергия нейтрино, испущенных Солнцем, приводят к тому, что в благоприятных случаях кажущееся ослабление потока солнечных нейтрино может, в принципе, быть определено, даже если разность квадратов масс регистрируемых нейтрино всего лишь 10^{-12} эВ^2!

Из своих исследований по астрофизике я хотел бы вспомнить следующие:

1. Работу «Универсальное взаимодействие Ферми и астрофизика», в которой я показал (1959 г.), что, благодаря упругому рассеянию $\nu_e + e \rightarrow \nu_e + e$, это взаимодействие обязательно приводит к астрофизически важным следствиям: в частности, звезды с очень высокой температурой и плотностью

должны испускать нейтрино-антинейтринные пары такой интенсивности, что на определенном этапе в эволюции звезды нейтринная светимость намного превзойдет светимость оптическую. Что касается нейтральных слабых токов, обнаруженных в 1973 г. в ЦЕРН, я раскрыл (1963 г.) их роль в астрофизике задолго до того, как они были экспериментально обнаружены.

2. Феноменологическое рассмотрение (1961 г., совместно с Я. Смородинским) «нейтринного моря», выполненное до того, как А. Пензиас и Р. Вильсон сделали великое открытие (1965 г.) микроволнового космического излучения, которое естественно предполагает существование «реликтовых нейтрино».

3. Предложенный мной в 1946 г. принцип наблюдения нейтрино, основанный на радиохимии и в особенности на хлор-аргонном методе, который и сегодня является единственным методом, позволяющим детектировать солнечные нейтрино. Вплоть до 1946 г. невозможность регистрировать нейтрино в свободном состоянии была общепризнанной. Как раз в том самом году, однако, я предложил тип эксперимента, который давал возможность детектировать эти частицы. В то время возможными источниками нейтрино были ядерные реакторы, очень мощные радиоактивные бета-источники и Солнце. Среди различных моих предложений, основанных на радиохимии, наиболее реалистичный так называемый хлор-аргонный метод состоит в облучении огромной массы хлора для наблюдения реакции $\nu_e + {}^{37}Cl \rightarrow e^- + {}^{37}Ar$. ^{37}Ar является радиоизотопом со средним временем жизни 30 суток, процесс К-захвата в котором, сопровождающийся испусканием рентгеновского излучения с энергией 2800 эВ, может быть зарегистрирован в счетчике Гейгера — Мюллера или в пропорциональном счетчике. Сам факт, что рассматриваемый радиоэлемент является благородным газом, позволяет относительно простыми средствами отделить от огромной массы хлора, облученного нейтрино в подземной лаборатории, те немногие атомы ^{37}Ar, которые должны быть введены в счетчик. Большой успех в регистрации нейтрино, идущих от Солнца, является в основном заслугой Р. Дэвиса, который, применяя хлор-аргонный метод, ценой героического многолетнего труда достиг цели в середине семидесятых годов. Признаюсь, я испытываю некоторую гордость за свой личный вклад в зарождение нейтринной астрономии Солнца. Тем не менее по неизвестной мне причине, если судить по недоброжелательному отсутствию ссылок, моя работа игнорируется. Это несправедливо, поскольку все мои работы, теоретические и экспериментальные, относящиеся к нейтринной

астрономии Солнца, собранные вместе, вне сомнения, оказали решающее влияние на развитие этой новой области исследований. Я прекрасно сознаю, что рискую выглядеть смешным, оставляя в стороне скромность, но я все равно попробую. В конце концов, я:

1) изобрел радиохимический принцип обнаружения нейтрино (1946 г.), примерами которого служат Cl-Ar-метод, а также развиваемый в настоящее время Ga-Ge-метод;

2) предложил конкретно Cl-Ar-метод, который заведомо является наиболее осуществимым радиохимическим методом регистрации нейтрино;

3) рассмотрел, начиная с самой первой работы, возможность регистрации солнечных нейтрино (1946 г.);

4) экспериментально доказал осуществимость Cl-Ar-метода, после того как осознал необходимость использования вместо счетчика Гейгера — Мюллера пропорционального счетчика, измерение амплитуд импульсов которого позволяет отделить от шумового фона истинные события K-захвата в ^{37}Ar, образованном нейтрино в хлоре (1949 г.);

5) развил с этой целью технику пропорциональных счетчиков, используя их с огромным коэффициентом размножения в газе, так что достигнутая чувствительность была всего лишь несколько пар ионов;

6) создал пропорциональный счетчик с достаточно низким эффективным уровнем шума при регистрации нейтрино Cl-Ar-методом (1949 г.);

7) предложил измерять не только амплитуду, но и форму импульса пропорционального счетчика с целью дальнейшего уменьшения эффективного фонового шума (1968 г.);

8) поднял вопрос (1967 г.) о значении нейтринных осцилляций (и соответственно масс нейтрино) для нейтринной астрономии Солнца;

9) поднял и обсудил (1971 г.) еще до открытия третьего поколения лептонов (тау) вопрос о важности существования тяжелых лептонов для нейтринной астрономии Солнца;

10) предсказал (1967–1969 гг.), как более или менее естественный эффект, дефицит числа регистрируемых солнечных нейтрино, который был впоследствии установлен Р. Дэвисом и Дж. Бакалом и известен под названием «загадки солнечных нейтрино».

Здесь кончается этот нелепый список: в его появлении я виню синдром Паркинсона, который временами играет со мной плохие шутки. Итак, я разрядился. Впрочем, я пишу для очень узкого круга физиков, моих знакомых. Суммируя все, я надеюсь, что эти

строки увидят свет. Кстати сказать, используя счетчики, упомянутые выше, мы с Г. Ханна выполнили первое наблюдение (1949 г.) ядерного L-захвата (в ^{37}Ar, всего ~10 пар ионов!) и первое измерение (1949 г.) бета-спектра ^{3}H, из которого можно было тогда заключить, что масса nu^{e} ‹ 500 эВ.

Возвращаюсь к синдрому Паркинсона. Болезнь началась в 1978 г. До того времени у меня было отличное здоровье, и спорт и путешествия были моим любимым времяпровождением. Я прилично играл в теннис и имел первый разряд. Я был одним из зачинателей и пропагандистов подводного спорта в России. Занимаясь подводной охотой, я погружался на глубину до двенадцати метров не только в Черном море, но также и в Тихом океане в весьма экзотических местах, куда можно было добраться только на вертолете или военно-морском судне для чтения лекций пограничникам. Я был страстным любителем водных лыж.

Я придерживался левых политических убеждений. С самого начала это было связано прежде всего с моей ненавистью к фашизму и, как я теперь думаю, с чувством справедливости, привитым мне отцом. С середины тридцатых годов вплоть до семидесятых мои представления определялись категорией нелогичной, которую я сейчас называю «религией», каким-то видом «фанатичной веры» (которая уже отсутствует), гораздо более глубокой, чем культ какой-либо одной личности. Сегодня я уверен, что так называемая «перестройка» — это действительно революционный путь (даже если во многих аспектах его еще предстоит освоить), на котором в Советском Союзе будет создано при свете открытости и искренности социалистическое демократическое общество, основанное на передовых законах и правах человека.

Я член Коммунистической партии Советского Союза, сопредседатель общества «СССР — Италия». Награжден орденами и медалями. Являюсь членом и почетным доктором различных обществ и университетов. Действительный член Академии наук Советского Союза (с 1958 г.) и иностранный член Академии деи Линчеи (с 1981 г.). Вплоть до последних двух лет я заведовал кафедрой физики элементарных частиц Московского университета. Я считаю, что педагогическая деятельность приносит не меньшую пользу тому, кто преподает, чем тому, кто учится. Я написал книгу о Ферми и руководил изданием на русском языке полного собрания трудов Ферми, которое сопроводил множеством комментариев в надежде передать читателю атмосферу работы римской школы физики.

В 1978 г. в связи с семидесятилетием Эдоардо Амальди я вернулся в Италию на несколько дней после долгих 28 лет

отсутствия! У меня нет слов, чтобы описать эмоции, которые я испытал, когда вновь оказался в Институте физики Ферми и Амальди, Разетти и Сегре, Майораны и Вика… Впоследствии я приезжал в Италию почти каждый год и на значительно более длительное время. Я нашел страну совершенно отличной от той, в которой жил прежде. Вот самые первые впечатления. Италия полна не только иностранных туристов, но и иностранных рабочих, среди которых много цветных. Нет больше голода, нет портретов дуче, нет пыли в маленьких городах, автострады в отличном состоянии и напоминают американские. Но движение автотранспорта, насыщенное, но терпимое еще в 1978 г., сегодня в Риме стало невыносимым. Забыта организация общественного транспорта; автобусы и такси (когда их находишь) движутся как улитки, а метро практически отсутствует. Кроме того, к моему стыду, я впервые, в возрасте 65 лет, был поражен прелестью маленьких итальянских городов, которые, как и тройку великих (Венецию, Флоренцию, Рим), я вновь посетил: Пизу, Лукку, Сиену, Сан-Джиминьяно, Урбино, Губбио, Ассизи, Монтепульчано, Орвието, Совану…

Возвращение на улицу Паниперна [1]

Не могу скрыть свое глубокое волнение от того, что нахожусь здесь, на улице Паниперна, в месте, которое видело рождение школы Ферми, чтобы почтить память Эдоардо Амальди.

В XX веке, в котором царит специализация, скорее уникальной, чем редкой, была жизнь такого ученого, как Эдоардо Амальди, отличавшегося не только превосходными по качеству и количеству исследованиями, но и своим преподаванием физики в университете и в других местах, и наконец, своими качествами человека и большого организатора науки.

Разрешите мне рассказать вам подробно, как мы здесь пришли в 1934 г. к открытию замедления нейтронов.

По заданию Ферми Амальди провел серию семинаров на основе знаменитой книги Резерфорда о естественной радиоактивности, что было связано с решением превратить лабораторию, специализировавшуюся в оптической спектроскопии, в лабораторию по ядерной физике. Я многим обязан Эдоардо; в то время я работал по предложению Сегре, которому я тоже многим обязан, над одним явлением оптической спектроскопии, а именно над физикой так называемых «вздутых атомов», зародившейся в работах Ферми, Амальди и Сегре. Однако ядерная физика, над которой все уже начали работать, мне казалась гораздо интереснее, чем оптическая спектроскопия, поскольку последняя уже находилась на весьма продвинутой стадии развития и мне, новичку, было очень трудно ее осваивать. С другой стороны, можно утверждать, что было нетрудно следить за работами по ядерной физике, которые в институте только зарождались. Поэтому я был очень доволен, когда по возвращении после каникул в Рим мне предложили помогать другим в изучении радиоактивности, наведенной нейтронами и открытой Ферми несколько месяцев назад.

Эдоардо Амальди (1908–1989) — итальянский физик-экспериментатор. Член Академии деи Линчеи (1948), президент Академии в 1988–1989 гг. Член ряда академий наук и научных обществ, в том числе иностранный член Академии наук СССР (1958), Национальной академии наук США (1962), Лондонского королевского общества (1968)

Амальди и я получили задание заняться количественным изучением этого явления. С этой целью мы исследовали условия, в которых можно было сравнить интенсивности радиоактивности,

наведенной нейтронами в различных веществах. Первым условием успеха было получение воспроизводимых результатов, хотя бы (при выполнении разных опытов) при использовании одного и того же вещества (которое мы называли детектором). Детектором служил цилиндр из серебра с тонкими стенками (период 2,3 минуты), который облучался нейтронами от источника (радон + бериллий). Мы заметили, что активность серебряного цилиндра воспроизводится плохо. Кроме того, даже в случае относительно большого расстояния между источником и детектором, расстояния, при котором мы ожидали интенсивность, близкую к нулю, интенсивность активности цилиндра оказывалась совсем не пренебрежимой; мы это окрестили «эффектом маленького замка», имея в виду сооружение из свинцовых кирпичей, в котором мы хранили источник для защиты от гамма-излучения. Амальди и я были уверены в существовании «эффекта маленького замка»; Разетти же со своей душой скептика считал, что мы сделали работу недостаточно чисто. Казалось, что Ферми это было не очень интересно, но, как мы впоследствии увидели, это было совсем не так. Было решено выполнить «чистый» опыт, в котором детектор и источник были расположены на расстоянии в несколько сантиметров друг от друга, и предусматривалось помещать между этими двумя предметами свинцовый поглотитель в форме клина. Этот поглотитель был сделан, но он никогда не был использован ни Ферми, ни другими. Никому ничего не говоря, Ферми приготовил поглотитель из парафина такой же формы, как и свинцовый, и измерил интенсивность от детектора с парафином и без него. Потом он нас всех позвал и сказал: «Как вы видите, парафин не уменьшает, а несколько увеличивает интенсивность от детектора. Раз малое количество парафина приводит к незначительному увеличению интенсивности от детектора, вместо ослабления, то посмотрим, что произойдет при большом количестве парафина». Мы собрали все куски парафина, которые были под рукой; сначала опыт был выполнен с парафином, потом с водой; результаты нас изумили. Интенсивность от детектора оказалась во много раз выше, чем та, к которой мы привыкли.

Таким образом был открыт эффект замедления нейтронов при столкновениях с протонами. Ферми остудил нашу эйфорию, произнеся: «Теперь пойдем поедим». Я подробно рассказал об обстоятельствах открытия медленных нейтронов, потому что здесь решающими оказались как случай, так и интеллект великого ума. Когда мы спросили Ферми, почему он приготовил поглотитель из парафина вместо того, чтобы использовать свинцовый, то он ответил: «С. Ф. И., т. е. с помощью моей

феноменальной интуиции». Было бы неправильно заключить по этому ответу, что Ферми был лишен скромности. Он был прост и скромен, но он был уверен в собственных силах. Когда в тот день мы вернулись в институт после завтрака, Ферми нам объяснил с удивительной ясностью эффект парафина, введя при этом понятие замедления нейтронов. С абсолютной искренностью он сказал: «Мы оказались глупцами, что открыли явление случайно вместо того, чтобы его предвидеть». В тот же день были сделаны многочисленные заключения, некоторые из которых явились результатом опытов, проведенных, как говорил Эдоардо, «за закрытыми дверьми». Так, например, Амальди и я (и сегодня я не стыжусь об этом говорить) занялись исследованием влияния сильных электрических и магнитных полей на явление активации в водородсодержащих веществах!

Ферми рассказал о полученных результатах по замедлению нейтронов директору института сенатору Корбино, который воспринял их с энтузиазмом и сказал: «Очевидно, нужен патент на изобретение вашего метода замедления нейтронов». Не могу забыть детский и искренний смех Ферми в ответ на мнение, что упомянутые работы могут найти практическое применение. Наша общая радость была прервана Корбино, который сказал: «Вы молоды и совсем ничего не понимаете».

Энрико Ферми

Брошюра посвящена жизни и научной деятельности великого итальянского физика Энрико Ферми (1901–1954). Автор ее, академик Бруно Понтекорво, был учеником и сотрудником Ферми. Он рассказывает биографию ученого, рассматривает его вклад в современную физику и значение созданной Ферми обширной школы итальянских физиков, многие представители которой получили всемирную известность.

Для физиков всего мира имя великого итальянского ученого Энрико Ферми стало символом цельности и универсальности физики. Творчество Ферми напоминает нам, что физика едина и сегодня, хотя физики как индивидуумы все более и более становятся узкими специалистами. Можно даже сказать, что появление на научной арене XX столетия человека, который внес такой громадный вклад в развитие и теоретической физики и экспериментальной физики, и астрофизики, и технической физики, — явление скорее уникальное, нежели редкое: когда Ферми умер в 1954 г., от нас ушел последний универсальный физик нашего столетия и, вероятно, последний универсальный физик вообще.

Читатель, интересующийся более обстоятельно научным обликом Ферми, может найти обширный материал в книге «Научные труды Энрико Ферми» (будет опубликована в 1971 г. издательством «Наука»), где имеется введение, написанное Б. Понтекорво, и многочисленные комментарии учеников Ферми к его статьям, а также в книге Б. Понтекорво и В. Покровского «Э. Ферми в воспоминаниях учеников и друзей» (книга будет опубликована в 1972 г. издательством «Наука»).

Юность

Ферми родился в Риме 29 сентября 1901 г. в семье служащего. Если можно говорить о врожденном призвании, то, несомненно, Ферми был рожден физиком. Хотя в семье никто не побуждал его к занятиям наукой, он с детства проявил исключительный интерес к математике и физике. Интеллектуальное развитие мальчика, впоследствии гениального ученого, представляет большой интерес, и я хотел бы подробнее остановиться на этом.

Неизвестно точно, когда впервые у Ферми появился интерес к науке, но мы располагаем некоторыми фактами благодаря свидетельствам Энрико Персико[2], профессора физики Римского университета и близкого друга Ферми с того времени, когда им было по 14 лет; его жены, Лауры Ферми[3], и ряда его сотрудников и друзей, особенно Франко Разетти[4] и Эмилио Сегре[5], с которыми Ферми делился воспоминаниями. Сегре[6], например, рассказывает о следующем эпизоде: когда Ферми было только десять лет, он сумел понять, почему окружность описывается уравнением $x^2 + y^2 = R^2$, хотя это и потребовало от него напряженного интеллектуального усилия.

Позже тринадцатилетнему Ферми очень помог найти правильную дорогу в научном лабиринте инженер Амидей, добрый пожилой человек, друг семьи Ферми, который по праву может гордиться тем, что, обнаружив исключительные способности Ферми, оказал на него большое, а может быть, и решающее влияние. Инженер Амидей был очень аккуратным человеком. Когда после смерти Ферми Сегре попросил Амидея рассказать о первых шагах Энрико в науке, он сумел привести (41 год спустя!) и крайне точные и ценные для истории науки сведения, позволяющие понять некоторые важные элементы в формировании титанической личности Ферми. Ниже почти полностью приводится письмо инженера Амидея профессору Сегре, рассказывающее о периоде жизни Ферми от осени 1914 до осени 1918 г.

Письмо инженера Амидея профессору Э. Сегре
(25 ноября 1958 г., Ливорно)

«…В 1914 г. я занимал должность директора инспекторов в министерстве железных дорог. Вместе со мной работал главный инспектор Альберто Ферми. После работы мы обычно возвращались домой вместе. Почти всегда нас сопровождал Энрико Ферми — сын моего коллеги. Мальчик постоянно встречал отца после работы. Узнав, что я серьезно занимаюсь математикой и физикой, Энрико стал задавать мне вопросы. В то время ему было 13 лет, а мне 37.

Хорошо помню его первый вопрос[7]:

— Правда ли, что существует раздел геометрии, в котором важные геометрические свойства выявляются без использования представлений о мере?

Я ответил, что это совершенно справедливо и что раздел этот называется проективной геометрией.

— Но каким образом эти свойства используются на практике инженерами? — спросил он.

Этот вопрос показался мне совершенно резонным. Рассказав мальчику о некоторых свойствах, находящих успешное применение, я пообещал ему принести на следующий день — что и сделал — книгу по проективной геометрии.

Через несколько дней Энрико сказал мне, что он уже проштудировал первые три урока, и обещал возвратить книгу, как только прочтет ее. Примерно через два месяца книга была возвращена. На мой вопрос, встретились ли ему какие-либо трудности, мальчик ответил: *„Никаких“»* — и добавил, что он доказал все теоремы и легко решил все задачи (в книге их было более 200).

Я был изумлен: ведь я знал, что среди этих задач были такие, от решения которых я вынужден был отказаться, потому что на это ушло бы слишком много времени. Но я убедился, что Энрико справился с этими задачами. Было совершенно очевидно, что в свободные часы, остававшиеся от приготовления школьных заданий, мальчик в совершенстве изучил проективную геометрию и с легкостью решал сложнейшие задачи. Я убедился в том, что Энрико исключительно одарен, во всяком случае в области геометрии. Когда я сказал об этом его отцу, тот ответил, что в школе Энрико считается хорошим учеником, но не больше.

Впоследствии я узнал, что Энрико изучал математику и

физику по разным случайным книгам, которые он покупал в букинистических магазинах на рынке Кампо деи Фьори. Он надеялся, в частности, найти в этих книгах теорию, объясняющую движение волчков и гироскопов. Объяснения он так и не нашел. Но, возвращаясь к этой проблеме снова и снова, мальчик самостоятельно приблизился к разъяснению природы загадочного движения волчка. Все же я сказал ему, что к точному научному объяснению можно подойти, лишь овладев теоретической механикой. Но для ее изучения потребуется знание тригонометрии, алгебры, геометрии и дифференциального исчисления… Энрико согласился со мной, и я стал доставать для него книги, которые могли бы дать ему новые идеи и прочную математическую основу.

Приведу перечень книг, которые он брал у меня в тот период.

В 1914 г. — „Курс прямолинейной и сферической тригонометрии“ Сэрре.

В 1915 г. — „Курс алгебраического анализа “Чезаро и „Лекции по аналитической геометрии“ Л. Бианки (Пизанский университет).

В 1916 г. — по математическому анализу „Лекции, прочитанные в Пизанском университете“ У. Дини.

В 1917 г. — по теоретической механике „Трактат механики“ Пуассона.

Кроме того, я считал, что ему будет полезно проштудировать книгу Г. Грассмана по математической логике с предисловием Пеано о применении дедуктивной логики. Эти книги он получил от меня в 1918 г…

Энрико нашел векторный анализ очень интересным, полезным и несложным. С сентября 1917 до июля 1918 г. он изучил также некоторые стороны инженерного дела по книгам, которые я доставал для него.

В июле 1918 г., пройдя трехгодичный курс лицея за два года, Энрико получил диплом. Возник вопрос, имеет ли ему смысл поступать в Римский университет. Мы с Энрико вели на эту тему длинные разговоры.

Я спросил у него, чему он хочет посвятить себя: математике или физике? Привожу дословно его ответ:

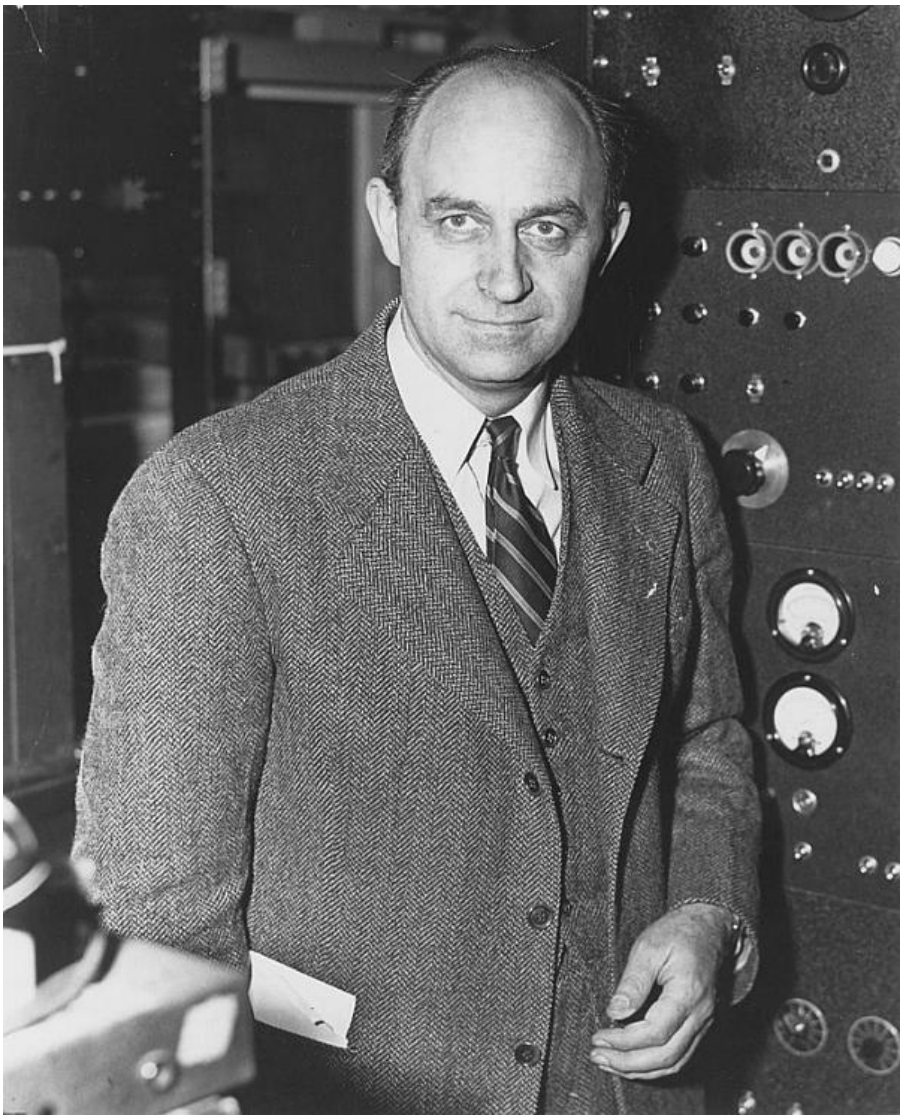
— Я изучал математику с таким рвением потому, что считал это необходимой подготовкой для последующего изучения физики, которой я намерен посвятить себя целиком и полностью.

Тогда я спросил у него, считает ли он свое знание физики столь же обширным и глубоким, как и математики.

— Я знаю физику шире и глубже, потому что прочел все наиболее известные книги по этому предмету, — ответил он[8].

Я уже убедился в том, что Энрико достаточно было прочесть книгу один раз, чтобы знать ее в совершенстве. Помню, например, как однажды он возвратил мне прочитанную им книгу по дифференциальному исчислению. Я предложил ему оставить ее у себя еще на один год с тем, чтобы он смог еще пользоваться ею. Ответ Ферми был поразительным.

— Благодарю вас, — сказал он. — В этом нет необходимости, поскольку я уверен, что запомнил все необходимое. Несколько лет спустя идеи предстают передо мной с еще большей отчетливостью, и если мне понадобится формула, я смогу легко вывести ее.



Энрико Ферми (1901–1954) — итальянский физик, наиболее

известный благодаря созданию первого в мире ядерного реактора, внесший большой вклад в развитие ядерной физики, физики элементарных частиц, квантовой и статистической механики. Лауреат Нобелевской премии по физике 1938 года «за доказательство существования новых радиоактивных элементов, полученных при облучении нейтронами, и связанное с этим открытие ядерных реакций, вызываемых медленными нейтронами»

Кроме поразительной способности к наукам, Ферми обладал еще исключительной памятью.

Пришло время, когда я решил, что наступил подходящий момент, чтобы предложить ему свой план… План этот заключался в следующем: Энрико должен поступить не в Римский университет, а в университет в Пизе. До этого ему надо будет выдержать конкурс в Нормальную школу в Пизе и впоследствии совмещать занятия в школе с посещением лекций в университете. Энрико признал разумность моего плана и решил следовать ему, хотя и понимал, что родители будут возражать.

Я немедленно отправился в Пизу, чтобы получить там необходимую информацию и программу для конкурса в Нормальную школу. Потом я вернулся в Рим, чтобы проштудировать программу с Энрико. Я не сомневался в том, что он в совершенстве знает предметы, связанные с математикой и физикой. Так оно и оказалось. Энрико не только выдержал конкурс, но оказался первым среди соискателей.

Родители Энрико не одобрили мой план по вполне понятным человеческим соображениям.

— Мы потеряли Джулио (старший брат Энрико, умерший в 1915 г. после непродолжительной болезни), — сказали они, — а теперь мы должны расстаться с Энрико на четыре года, в то время как в Риме существует великолепный университет. Правильно ли это?

Потребовалось известное терпение и такт, чтобы постепенно убедить их в том, что принесенная ими жертва откроет блестящую карьеру их сыну. В конце концов было получено их согласие. Итак, как писала жена Энрико, в конечном счете два союзника — Ферми и Амидей — одержали победу».

Хотелось бы немного прокомментировать это письмо. Мне кажется, что оно должно заинтересовать не только физиков и историков науки, но и более широкие круги читателей, особенно школьников, которые начинают увлекаться наукой, а также

педагогов. Быть может, благодаря инженеру Амидею одаренный мальчик и стал гением. Конечно, Ферми был прирожденным физиком, но кто может сказать, какова была бы его судьба, если бы инженер Амидей отнесся к нему иначе, если бы на вопросы мальчика он отвечал, например, так: «Это пока слишком трудно для тебя. Подрастешь — поймешь!» Возможно, Ферми и не увлекся бы так серьезно математикой и физикой в тринадцатилетнем возрасте и в результате стал бы, скажем, лишь хорошим инженером или физиком. Он мог бы, например, влюбиться, мог заинтересоваться шахматами или теннисом, иностранными языками или геологией. Дело в том, что перед тринадцатилетним Ферми был только один прямой путь, который мог бы привести его туда, куда он впоследствии пришел (и этот путь был указал Амидеем), но при этом было огромное число «боковых» дорог.

Во всяком случае, я совершенно уверен в том, что Ферми стал великим Ферми именно потому, что его интересы определились и его интеллектуальные запросы уже удовлетворялись, когда он был еще мальчиком. В этом меня убеждал стиль Ферми во всем, что относилось к физике; читал ли он лекции, объяснял что-либо сотруднику, выражал ли сомнение в чем-либо и т. д., всегда создавалось впечатление, что все ему просто и знакомо, что физика для него то же, что дом родной.

Если мое суждение правильно, то число потенциальных Ферми в мире куда больше, чем это обычно представляется.

Вот что писал Э. Персико[9]: «…Исключительные способности Ферми в точных науках проявились очень рано; когда я познакомился с ним (ему было 14 лет), я с удивлением обнаружил, что приятель у меня не только „дока“ в науке, как говорят на школьном жаргоне, но и товарищ, форма ума которого совершенно отличается от типичной для всех „умных“ мальчиков и блестящих учеников, с которыми я был знаком… В области математики и физики он проявил знания по гораздо большему числу разделов, чем учили в школе, причем знания были не школярскими, и он оперировал ими совершенно непринужденно. Для него уже тогда знание теоремы или закона означало прежде всего умение их использовать.

Вспоминая чувства восхищения и удивления, которые у меня, его ровесника, вызвал ум Энрико, я задаю себе вопрос: приходило ли мне в то время на ум слово „гений“? Вероятно, нет, поскольку для детей и, быть может, даже для большинства взрослых это слово ассоциируется не столько с качеством ума, сколько с общественной фигурой знаменитой и недоступной личности. Качества ума моего молодого друга, которые удивляли меня,

были для меня явлением слишком новым для того, чтобы я мог найти им имя».

Вероятно, читателя заинтересует вопрос, как учился Ферми в школе по гуманитарным предметам? Конечно, он был хорошим учеником, что не удивительно, если учесть наличие у него прекрасной памяти, но, опираясь на некоторые, впрочем, субъективные впечатления, я сказал бы, что по гуманитарным предметам Ферми был не более чем «нормальным отличником». Правда, он знал довольно много стихов наизусть[10], но это, я бы сказал, характеризует скорее его феноменальную память, чем страсть к поэзии. Мне помнится, где-то в тридцатых годах Ферми сказал, что главным источником его общей культуры является многотомная итальянская Детская энциклопедия, довольно удачная и красочно оформленная книга для юношества. Это подтверждает, что интересы Ферми вне области физики и математики были все-таки довольно ограниченными.

Память Ферми и рациональность мышления очень помогли ему при овладении иностранными языками. Энрико прекрасно знал немецкий язык, который он изучил еще мальчиком по совету инженера Амидея; французским и английским языками он владел более чем достаточно для понимания научной литературы. Позже в США Ферми, конечно, овладел английским языком в совершенстве, но не избавился от итальянского акцента, что определенно его огорчало.

Еще несколько слов об использовании иностранных языков в научных работах Ферми. В итальянский период жизни Ферми, естественно, писал статьи на итальянском языке. Но некоторые работы он написал также на хорошо знакомом ему немецком языке (до 1934 г.). Это были те произведения, которые он особенно ценил, что и дает представление об отношении самого Ферми к значимости своих работ. После упадка немецкой физики, связанного с приходом к власти Гитлера, немецкий язык в произведениях Ферми сменился английским. Когда же он эмигрировал в США, он стал писать только на английском языке.

Университетские годы

Осенью 1918 г. Ферми, согласно плану инженера Амидея, поступил одновременно в Высшую Нормальную школу Пизы и на физико-математический факультет старинного Пизанского университета. Во всех итальянских университетах нет вступительных экзаменов; нужно лишь иметь аттестат зрелости и, конечно, располагать средствами для оплаты обучения. Для поступления же в Нормальную школу требовалось выдержать довольно трудный конкурс, но для ученика школы обучение в университете было бесплатным. Ученик Нормальной школы автоматически является и студентом университета, но дополнительно посещает лекции и семинары в школе. (Может быть, небезынтересно заметить, что с 1965 г. директором Пизанской Нормальной школы является известный ученый Джильберто Бернардини.)

Высшая Нормальная школа в Пизе была создана в 1813 г. Наполеоном по типу Высшей Нормальной школы в Париже; она была единственным бесплатным высшим учебным заведением Италии. Хотя официально школа предназначалась для выпуска учителей средних школ, многие выпускники как гуманитарного, так и естественного отделений избирали карьеру исследователей и становились знаменитыми, что поднимало престиж школы. В частности, почти все известные итальянские математики от Бианки и Кастельнуово до Вольтера и Леви-Чивиты были ее выпускниками.

На вступительном конкурсном экзамене в школу от Ферми требовалось изложить свои знания по теме «Характер и причины звуков». Его «сочинение» дает представление об уровне знаний по классической физике, достигнутом Ферми в 17-летнем возрасте. Достаточно сказать, что далеко не все выпускники физических факультетов университетов (а не только средней школы) смогли бы написать такое сочинение, в котором используется метод Фурье при решении дифференциального уравнения колеблющегося стержня. Ферми сам рассказывал, что экзаменатор был удивлен его сочинением и сказал, что никогда ничего подобного в своей практике не встречал.

Итак, когда Ферми был принят в Пизанский университет в 1918 г. он уже был хорошо знаком с классической физикой. Насколько глубокими были его знания в области науки в то время, можно судить по словам, сказанным уже знаменитым Ферми в 1934 г.: «Когда я поступил в университет, классическую физику и теорию относительности я знал так же, как и теперь».

Юношей Ферми был самоучкой. Но и в университете профессора не смогли дать ему ничего нового: уже в то время он разбирался в физических проблемах лучше своих учителей. Кроме того, как раз те области, которые интересовали Ферми, особенно строение материи и квантовая теория, в Италии не культивировались, соответствующих университетских курсов не было. Как ни парадоксально, но Ферми стал учителем, и при этом блестящим, никогда не проходя через психологическую стадию ученика.

Большую пользу, по-видимому, принесло Ферми общение с талантливым однокурсником Франко Разетти: совместное обсуждение вопросов физики, особенно теоретической, помогло развитию проявившихся впоследствии исключительных дидактических способностей Ферми. Нет сомнения и в некотором прямом влиянии Разетти на Ферми. Для меня более десяти лет спустя стало ясным из разговоров в университетском Физическом институте, что талант Разетти-экспериментатора и его любовь к различным экспериментальным методам привлекали Ферми.

Исключительные способности Ферми-студента были довольно широко известны в Пизе не только в среде его товарищей и друзей, но также и в преподавательском коллективе университета и Нормальной школы.

Почти все сведения об университетском периоде получены от Персико и Разетти. Студенческие обязанности, конечно, не представляли никакой трудности для Ферми. Поэтому большую часть времени он отводил на изучение предметов им выбранных, а не обязательных университетских курсов. Вот что он написал Персико в феврале 1919 г., т. е. будучи студентом второго курса:

«…Поскольку для курсов мне почти ничего не надо делать, я пытаюсь расширить мои знания математической физики и буду делать то же самое в области математики, ведь я располагаю множеством книг».

Когда Ферми двадцать лет спустя уехал в Америку, он взял с собой все документы и тетради, которые впоследствии могли быть ему полезны. Они находятся теперь в музее Ферми при Чикагском университете. Среди них имеется тетрадка, которую он вел с июля по сентябрь 1919 г. и содержание которой представляет большой интерес для понимания уровня научного развития восемнадцатилетнего Ферми. Ниже дается описание содержания этой тетради со слов Э. Сегре[11].

Первые 28 страниц содержат конспект аналитической динамики и начаты в Каорсо 12 июля 1919 г. Здесь он излагает теорию Гамильтона и Якоби, затрагивая очень сложные вопросы крайне сжато и удивительно ясно. Тут нет сведений об источниках его информации, но, по-видимому, ими являются

работы Пуанкаре, которыми он занимался в это время, а также Аппеля.

Далее следуют 25 страниц об электронной теории вещества (начаты в Риме 29 июля 1919 г.), содержащие сжатый, как обычно, обзор по этому предмету. Здесь идет речь о лоренцовской теории, специальной теории относительности, теории излучения черного тела, диамагнетизме и парамагнетизме. Для этого раздела имеется библиография, в которой перечислены некоторые из самых важных книг по данному предмету, включая «Электронную теорию материи» Ричардсона, которую он очень внимательно изучил.

Упоминаются также первые работы Бора об атоме водорода, хотя в то время они были мало известны в Италии.

На следующих 19 страницах (Рим, 10 августа 1919 г.) более подробно рассмотрена теория излучения черного тела по Планку. За этим следует без комментариев обширная библиография (Каорсо, сентябрь 1919 г.) по радиоактивности, взятая из резерфордовской книги «Радиоактивные вещества и их излучения». Следующая глава со страницы 81 до страницы 90 (Каорсо, 14 сентября 1919 г.) посвящена Н-теореме Больцмана и кинетической теории. Здесь мы найдем, как обычно, сжатое, но ясное описание теории и некоторых ее применений. Для установления Н-теоремы используется метод Больцмана, в котором проводится подробный анализ всех возможных соударений. Тетрадка, содержащая всего 102 страницы, завершается двумя библиографическими списками (из книги Таунсенда о газовом разряде) работ по электрическим свойствам газов и фотоэлектричеству. Последние страницы, написанные в Риме 29 сентября 1919 г., заключаются оглавлением.

Содержание тетрадки свидетельствует о многих чертах автора. Если учесть возраст автора и тот факт, что он был самоучкой, то восхищает степень его разборчивости в выборе материала. Характерно и то, что Ферми, легко справляясь с математическими трудностями, все-таки не ищет красивой математики как самоцели. Легка или трудна теория — это не главное, важно то, освещает ли она существенное физическое содержание проблемы. Если теория легка — прекрасно, но если необходима трудная математика, он быстро смиряется с этим. Можно заметить также определенное различие между главами, где логическая структура предмета преобладает над его экспериментальным содержанием, и главами более эмпирического характера. В теоретических главах уже видна рука мастера, а в остальных проявляется отсутствие опыта, а также критической оценки различных работ.

Удивительно, что только после одного года университетской работы студент сумел составить такую тетрадку, которая сделала бы честь и опытному преподавателю.

Архивная фотография Энрико Ферми в детстве (второй слева). Рим. Италия. Его брат Джулио (умер в детстве) — третий справа. Их старшая сестра Мария стоит в дальнем правом, заднем ряду

В 1920 г. Ферми написал Персико: «…Мои занятия идут очень хорошо, ибо я уже сдал неорганическую химию и решил изучить органическую химию в Университете». По-видимому, химия тогда не была самым предпочитаемым предметом Ферми, и этим письмом он дает понять, что не собирается особенно расширять свои знания по химии, а просто будет готовиться к экзаменам по химии в университете. Кстати, единственными экзаменами, на которых Ферми не был удостоен высшей оценки, были экзамены по химии. Ферми изучил, как известно из его переписки с Персико, в первые два года занятий в университете, следующие книги: «Теория вихрей» Пуанкаре, «Аналитическая механика» Аппеля, «Теоретическая химия» Нернста, «Курс общей химии» Оствальда, «Электронная теория материи» Ричардсона, «Пространство, время, материя» Вейля.

В 1920 г. он сообщает Персико, что уже завоевывает некоторый престиж в Физическом институте, где он в

присутствии ряда профессоров должен читать лекцию о квантовой теории, тогда практически неизвестной в Италии. Как побочный результат, по словам Персико, его напряженного изучения физики в университетские годы появились первые теоретические исследования Ферми в области электродинамики и теории относительности. На некоторые из них до сих пор ссылаются специалисты. Вот как Персико характеризует отношение двадцатилетнего Ферми к изучаемой им книге: «Его метод изучения книги всегда состоял в том, что из книги он брал только данные проблемы и результаты опыта, сам обрабатывал их и затем сравнивал свои результаты с результатами автора. Иногда при проведении такой работы он ставил новые проблемы и решал их или даже поправлял ошибочные, хотя и общепринятые решения. Так и возникли его первые печатные работы».

Темой диссертационной работы Ферми на соискание степени доктора физики (что соответствует в СССР студенческой дипломной работе), однако, явилось экспериментальное (согласно традициям итальянских университетов, требовалось, чтобы дипломная работа была экспериментальной) исследование по оптике рентгеновских лучей.

Здесь следует отметить, что знания, полученные Ферми во время выполнения дипломной работы, не пропали даром и что его тогдашнее глубокое ознакомление с физикой кристаллов очень помогло ему в теоретических исследованиях по оптическим свойствам молекул и кристаллов десять лет спустя и в теоретическом и экспериментальном изучении созданной им оптики нейтронов двадцать лет спустя.

Диплом Ферми получил (июль 1922 г.), конечно, с оценкой cum laude. Диплом Нормальной школы он получил приблизительно в то же время с той же оценкой, защитив диссертацию по теории вероятности.

Первые годы после университета

Хотя Ферми пользовался огромным престижем в Пизанском университете, все-таки там ему не предложили работы. Это больше говорит об удивительной бедности итальянских университетов того времени, нежели о недальновидности дирекции Физического факультета Пизанского университета.

Энрико возвращается домой в Рим и знакомится с сенатором профессором Орео Марио Корбино, директором Физического института Римского королевского университета. Корбино когда-то был первоклассным физиком-экспериментатором, однако с двадцатых годов почти не занимался наукой и стал видной фигурой в частной электрической промышленности Италии, а также в течение некоторого времени занимал посты министра экономики и министра образования, хотя и не был членом фашистской партии. Корбино была присуща некоторая двойственность: с одной стороны, политическая карьера, бизнес и деньги, с другой — лаборатория, интересы итальянской физики, словом, все, что напоминало ему о его молодости. Ферми, а затем и его сотрудники прежде всего видели в Корбино только эту вторую, привлекательную сторону. Кроме того, он был яркой личностью: исключительно обаятельный, полный юмора и, по представлениям Ферми, очень мудрый.

Корбино очень быстро «сориентировался» и понял, что представляет собой этот двадцатилетний юноша. С этого времени он стал покровительствовать Ферми. Корбино не только предложил ему временную работу в качестве преподавателя математики для студентов химиков в Римском университете, но, что было важнее, сказал Ферми о своем намерении при первой возможности обеспечить для университета постоянное сотрудничество Энрико. Знакомство с сенатором имело большое значение для Ферми, который считал его вторым отцом; признательность Ферми отражена в написанном им некрологе Корбино.

Необходимо подчеркнуть, что дружеское отношение такой влиятельной фигуры, как Корбино, к Ферми, его бескорыстная поддержка Ферми в создании молодой школы итальянских физиков в Риме, неизменное содействие этой школе, его искренняя радость по поводу ее успехов — все это оказало огромное влияние на итальянскую физику, без сомнения, превышающее его прямой исследовательский вклад. На шутливом «религиозном» жаргоне Римского физического института Корбино получил «официальное» прозвище «Бога-отца».

В Риме Ферми провел несколько месяцев. Вскоре он был удостоен премии Министерства образования для усовершенствования за границей и с января по август 1923 г. пробыл в Германии, в Геттингене, у известного физика-теоретика, впоследствии лауреата Нобелевской премии, Макса Борна.

В Геттингенский период Ферми опубликовал, по-прежнему в одиночку, цикл работ по теоретической механике. Одна из них — доказательство, правда, нестрогое, квазиэргодичности механических систем — понравилась Эренфесту, известному специалисту в этой области. Эренфест написал Ферми об этом, что, по-видимому, явилось причиной того, что Энрико вскоре поехал именно в Лейден, к Эренфесту. Но об этом позже.

У Борна Ферми встретился с такими блестящими молодыми физиками-теоретиками, как Паули, Гейзенберг и Йордан, которым, в отличие от Ферми, посчастливилось учиться у выдающихся ученых Зоммерфельда и Борна. Как ни странно, пребывание в Геттингене и встреча с этими звездами физического мира не принесли, по словам самого Ферми, особенной пользы молодому самоучке. Его работы, выполненные в Геттингене, никак не отражают местного духа и могли бы быть выполнены Ферми в Риме, если бы он тут остался. Эта связано с рядом причин.

Вокруг Ферми в Италии не было физиков, с которыми бы он мог общаться на равном уровне и с которыми он, по его словам, мог бы сравнивать себя (что очень важно с психологической точки зрения); у него возникла привычка работать, полагаясь только на себя и используя лишь книги и научные работы для консультации. (Эта привычка, однако, вскоре исчезла.) Но это не все.

Двадцатилетний Ферми еще не обладал той уверенностью в себе, которая так необходима для творческой работы. Как рассказывал сам Ферми, он, наконец, обрел такую уверенность благодаря выдающемуся физику-теоретику П. Эренфесту, на обучении у которого в Лейдене, в Голландии, он находился с сентября по декабрь 1924 г. Советским физикам П. Эренфест очень хорошо известен, так как он часто бывал в Советском Союзе. Ферми рассказывал своим сотрудникам, что Эренфест оказал огромное влияние на развитие современной физики не столько своими классическими работами, сколько педагогической в широком смысле слова деятельностью, т. е. научным воздействием на других физиков. (Кстати, аналогичные слова произнес Ферми и о выдающемся французском физике Поле Ланжевене.) Эренфест был хорошо знакам и дружил со всеми крупнейшими физиками от Бора, Эйнштейна, Лоренца и Планка

до Гейзенберга и Паули. И вот Эренфест, обнаружив дар крупного физика у Ферми, не замедлил сказать ему об этом. С этого времени неуверенность Ферми в своих силах исчезла, что, как это известно от самого Ферми, было очень важно для него. Прямое влияние лейденского периода на Ферми, однако, незначительно.

К началу двадцатых годов относится и одна теоретическая работа, которая обнаруживает черты уже зрелого Ферми. Я хочу упомянуть о ней здесь, так как многие физики не знают, что именно в этой работе Энрико Ферми заложена в очень ясной форме красивая идея, использованная позже Вайцзеккером и Вильямсом в их знаменитом методе (речь идет о методе эквивалентных фотонов, т. е. о расчете различных эффектов при соударениях очень быстрых электрически заряженных частиц, основанном на замене поля частиц эквивалентным полем электромагнитного излучения).

По своей натуре Ферми был застенчив. Правда, это утверждение покажется необоснованным тем, кто узнал Ферми после его двадцатипятилетия и притом только по его отношению к физике; Ферми был слишком искренним и непосредственным, чтобы проявлять ложную скромность после того, как он внутренне осознал свое превосходство.

Застенчивость можно было заметить у Ферми и позже, но уже не в науке. Он очень не любил чем-то выделяться. Лаура Ферми рассказывает о случае, когда Ферми страшно смутил рабочий, случайно заставший его в довольно смешной одежде итальянского академика. Очень типичной была его виноватая, детская улыбка, появлявшаяся, правда, довольно редко, когда по какой-то причине у него вновь исчезала уверенность в себе, скажем, в присутствии Майораны, личность которого ему очень импонировала, или на теннисной площадке перед более сильным игроком.

Ферми всегда стремился к конкретности во всем, к упрощению, выделению главного. На этой черте характера Ферми, быть может, самой характерной, я остановлюсь несколько ниже, пока же я хотел согласиться с Сегре[12], что в условиях научной изоляции, о которой я говорил раньше, конкретность была необходима для Ферми, поскольку оценить важность своей работы он мог только с помощью результатов не слишком отвлеченного характера.

Во всяком случае, в двадцатых годах, когда основные принципы физики претерпевали коренную ломку (и Геттинген был одним из центров, где это происходило), ориентироваться молодому Ферми без учителей, по-видимому, было крайне трудно. Почти все труды Ферми характеризуются отсутствием

абстрактности. Его теории почти без исключения созданы для того, чтобы объяснить, скажем, поведение определенной экспериментальной кривой, «странности» данного экспериментального факта и т. д. Не исключено, что черты, присущие Ферми, — конкретность, ненависть к неясности, исключительный здравый смысл, — помогая ему в создании многих фундаментальных теорий, в то же время в этих условиях помешали ему прийти к таким теориям и принципам, как квантовая механика, соотношение неопределенностей и принцип Паули.

Некоторое подтверждение этому можно найти в очень интересном отрывке из письма, которое Ферми написал Персико[13] в сентябре 1925 г., спустя два года после его пребывания в Геттингене: «…Я думаю, что в последние несколько месяцев очень больших успехов не было, несмотря на формальные результаты в зоологии спектральных термов, полученные Гейзенбергом. По-моему, они начинают слишком далеко заходить в направлении отказа от понимания физической сущности». Вот как Персико[14] комментирует это письмо: «„Зоология спектральных термов“, по-видимому, относится к статье В. Гейзенберга, которая, правда, была тогда неудовлетворительной и формалистической, но спустя несколько месяцев эволюционировала в матричную квантовую механику. К квантовой механике в матричной форме, однако, Ферми не испытывал, по-видимому, научной симпатии. Первые его работы по квантовой механике были стимулированы не гейзенберговским подходом, а статьями Шредингера о волновой механике; при этом вклад Ферми состоял в том, что он выяснил соотношение между волновой механикой и старой корпускулярной механикой».

По словам Ферми, сказанным им в тридцатых годах, из-за абстрактности общей теории относительности он также не испытывал большой симпатии к ней (хотя глубоко знал ее) и особенно к ее космологическому следствию — теории расширения Вселенной. Правда, в конце сороковых годов он пересмотрел свою точку зрения, по-видимому, в связи с увеличением круга наблюдений, связанных с теорией расширения Вселенной; его интерес к этой теории отражен в работах о происхождении химических элементов и в книге «Лекции по атомной физике».

Здесь я сразу же должен предупредить читателя, у которого может возникнуть подозрение, что прохладное отношение Ферми к абстрактным и вообще формалистическим работам как-то вызвано недостаточным его знакомством с математическим

аппаратом. Он никогда не боялся математических трудностей и глубоко знал математику. С математическими методами Ферми ознакомился, как мы видели, будучи еще мальчиком. В Пизе он расширил свои математические знания до такой степени, что впоследствии мог при необходимости подходить к решению любой задачи самыми рафинированными методами.

С первых дней по возвращении в Рим он познакомился с представителями блестящей математической итальянской школы — Энриквесом, Кастельнуово, Леви-Чивитой, Вольтеррой — и с тех пор подружился с ними. Они не только уважали его как единственного представителя зародившейся итальянской школы теоретической физики, но очень ценили его и как математика. Однако отношение Ферми к математике было особенным. Математика для него была средством, а не целью. Он возражал против использования изысканных или сложных математических методов для решения второстепенных или «надуманных» физических задач. Один раз он сказал: «Математика сегодня — это не передовая наука времен Гаусса; слишком часто сегодня математик или физик с математическим складом ума выдумывает трудную задачу, решает ее, а потом восклицает: „Смотри, какой я умный!“»

Сразу скажу, что это отношение к математике как к великой науке, уже не способной существенно обновляться, изменилось у Ферми позже, и особенно после его знакомства с крупнейшим математиком фон Нейманом, которым он восхищался.

Во всех работах Ферми математический аппарат вполне адекватен решаемой задаче, при этом он всегда избегал излишнего формализма, но, если это требовалось, был готов использовать самые изысканные методы. Ради простоты он часто удовлетворялся достаточно грубым приближением. Хорошим примером этого служит его оценка граничных условий на поверхности раздела между веществом и вакуумом для задачи диффузии тепловых нейтронов. Ферми показал, что полученная на основе решения одномерной задачи простая оценка может после небольшой модификации дать достаточно точный результат и для реального случая трехмерной диффузии нейтронов. Этот вопрос имел большое значение для нейтронной физики в период создания атомной техники, так что силы больших научных коллективов были сконцентрированы на точном решении данной задачи. Это оказалось довольно сложным математическим делом, к тому же в практически важных случаях точное решение очень мало отличалось от результата Ферми. Не перестаешь удивляться, как легко все у него получалось!

Энрико Ферми в лаборатории

Здесь уместно упомянуть о симпатии, которую Ферми всегда испытывал к любой форме численных методов решения математических задач. Забегая вперед, я хотел бы сказать несколько слов о его «вычислительной карьере». В кабинете Ферми всегда стояла маленькая настольная механическая счетная машинка. В 1927 г. он, не сумев найти общее решение установленного им дифференциального уравнения для среднего потенциала атома в зависимости от расстояния, быстро решил его численно с помощью этой машинки. Работа такими кустарными

вычислительными методами, хотя иногда и в широком масштабе, продолжалась вплоть до появления первых мощных электронных вычислительных машин, значение которых сразу же стало ему понятно. Ферми с вдохновением и энтузиазмом воспринял рождение электронно-вычислительной техники; немногие знают, что он — первый физик, который использовал мощные электронно-вычислительные машины для своей повседневной работы. Он пропагандировал использование этих машин самими физиками, без математиков, и сам был великолепным программистом. Для читателя-физика небезынтересно отметить, что Ферми уже в 1952 г. предложил использовать вычислительные машины для автоматизации измерений на фотоэмульсиях и фотографиях.

Университетская карьера

С января 1925 г. до осени 1926 г. Ферми пробыл во Флоренции, куда он был назначен «Professore incaricato» (т. е. временным профессором) с обязанностью чтения лекций по теоретической механике и по математической физике (курса теоретической физики в итальянских университетах тогда не было). Здесь я хотел заметить, что университетская карьера в Италии — в то время единственный путь для исследователя, поскольку в промышленности физики не использовались, — завершалась выигрышем конкурса на право занятия штатной должности профессора. Все промежуточные назначения (ассистент, помощник, временный профессор) или звания («Libero Docente») не только плохо оплачивались, но и не давали ни прочности положения, ни престижа.

В возрасте 24 лет (а это необычайно рано) Ферми получил звание «Libero Docente». Это соответствует советской степени кандидата наук, но для соискания «Libero Docente», однако, не требуется защиты диссертации; степень присваивается на основе совокупности научных работ комиссией штатных профессоров университета, которые оценивают представлении научные работы и заслушивают лекцию соискателя по теме, предложенной комиссией за 24 часа до лекции. Получение «Libero Docente» для молодого Ферми, уже опытного преподавателя, не представляло ни малейшей трудности.

Флорентийский период был очень важным в жизни Ферми. Во Флоренции он снова встречает Разетти, который был тут ассистентом кафедры, и совместно с ним проводит очень оригинальные эксперименты. В этот период он пишет блестящую книгу «Введение в атомную физику», которая позже служила основным учебником по теоретической физике для студентов университетов Но самое главное — это то, что именно здесь, в спокойной атмосфере Института физики, расположенного под Флоренцией, на холме, где работал и скончался Галилей, Ферми создает и публикует знаменитую работу о статистической механике частиц, подчиняющихся принципу Паули. Этой работой были заложены основы так называемой статистики Ферми — Дирака. Как известно, основное значение статистики Ферми — Дирака заключается в том, что она дала ключ к пониманию свойств электронов в металлах. Но и другие применения статистики Ферми весьма многочисленны, что иллюстрируется множеством терминов, вошедших в физическую и астрофизическую литературу, таких как «газ Фермии, «Ферми-

жидкость», «фермион», «поверхность Ферми», «метод Томаса — Ферми», «фермиевские импульсы» нуклона в ядре и т. д. В отличие от Дирака Ферми пришел к новой статистике независимо от квантовой механики. Он давно вынашивал предпосылки этого творения, но ему не хватало принципа Паули, после появления которого он сразу направил в печать свою работу. Кстати, Ферми заметно переживал то, что он не сумел сформулировать принцип Паули, к которому, как я слышал от него самого, очень близко подошел.

После открытия статистики, которая носит его имя, Ферми стал хорошо известен, как это ни странно, сначала за пределами Италии и только потом — на родине. Признания, которых он совершенно не искал, посыпались на Ферми в изобилии. В конце своей жизни Ферми был членом восемнадцати академий всех стран, доктором «honoris causa» многочисленных университетов, лауреатом ряда крупнейших премий и медалей, включая Нобелевскую премию. Кстати, в 1929 г. он был избран иностранным членом-корреспондентом Академии наук СССР, что, если я не ошибаюсь, явилось первым зарубежным официальным признанием Ферми.

Из переписки Ферми с Персико известно, что Ферми все-таки беспокоился о своей университетской карьере до тех пор, пока не был назначен штатным профессором осенью 1926 г. В частности, он огорчался тем, что в начале 1926 г. ему не удалось пройти по конкурсу на кафедру математической физики университета г. Кальяри, в Сардинии. Должность профессора для Ферми означала способ спокойно продолжать научную работу, но не больше. До конца жизни он никогда не искал ни важных административных постов, ни почета, ни наград. Он, естественно, был доволен признанием его заслуг, но честолюбие ему было чуждо.

Я хотел бы сделать здесь некоторые замечания о том, как, по моим субъективным впечатлениям, мне представляется отношение Ферми к жизни. Ему очень нравилась физика, при этом, особенно после пребывания в Лейдене, он почувствовал, что миссия исследователя и наставника ему по силам. В сравнении с этой любовью и этой миссией все остальное для Ферми имело второстепенное значение. Иногда сознательно, но чаще всего бессознательно его отношение к научной карьере, спорту, отдыху, семье, литературе и искусству и даже к политике определялось тем, что он должен иметь самые лучшие условия для работы. Я сказал бы, что в жизни Ферми все происходило так, будто некие «гормоны» так управляли его чувствами и образом жизни, чтобы автоматически обеспечить оптимальные условия для научных исследований. Он был гением, причем его гениальность в

значительной степени связана с его любовью к научной простоте; вне области физики он был самым обыкновенным и, как ни странно, самым простым человеком. Эта простота в жизни выражалась в том, что у него были очень простые вкусы и требования, что он ненавидел усложнения (как в физике!), что он был лишен снобизма и фальши, что он был всегда совершенно искренен и не скрывал тех черт своего характера, которые многим могут казаться недостатками (например, нелюбовь к музыке, полное отсутствие азартности, безразличие к политическим и философским проблемам, некоторая осторожность при трате денег). Кстати, деньги были необходимы Ферми для спокойной научной работы, а не для «роскошной» жизни.

Ферми очень любил теннис, лыжи, прогулки, хотя ни в одном виде спорта он не достиг высокого уровня. Но время, которое он тратил на эти увлечения и вообще на отдых, было строго ограничено до минимума.

Неудача Ферми в Кальяри все-таки сделала доброе дело. Сразу после создания новой статистики Корбино предпринял действия, направленные на приглашение Ферми в Римский университет. Он добился учреждения там кафедры теоретической физики — первой в Италии. (Насмешники называли ее «кафедрой фермифизики», так же как они называли «кафедрой разеттифизики» кафедру спектроскопии, созданную некоторое время спустя в Римском университете по инициативе того же Корбино с целью привлечь в университет Разетти.) Осенью 1926 г. Ферми выдержал соответствующий конкурс и занял должность профессора в Риме. Итак, его научная карьера в Италии достигла вершины, когда ему было 25 лет.

Создание итальянской школы физики

Когда Ферми в конце 1926 г. прочно обосновался в Риме в качестве профессора теоретической физики, там не было никакого исследовательского коллектива. Персико уехал во Флоренцию; Корбино был слишком занят другими вопросами, а в университете ему более чем хватало преподавательской деятельности.

Итальянскую школу современной физики создал тогда Энрико Ферми, один из великих учителей нашего времени, при содействии Орео Марио Корбино, блестящего организатора науки. Многие из учеников Ферми, такие как Разетти, Амальди, Сегре, Вик, Рака, Росси, Фано, Ферретти, Бернардини, Коккони, Конверси, Пиччиони и другие, стали широко известными физиками.

О неизгладимом следе, оставленном Ферми в научной жизни Италии, можно судить по тому, что в настоящее время, через тридцать лет после того, как он покинул свою родину, там успешно работает многочисленная группа довольно известных физиков (первого, второго и последующих поколений), продолжающих традиции современных первоклассных теоретических и экспериментальных исследований, созданные Ферми. Ядро этой школы (Разетти, Сегре, Майорана, Амальди) сформировалось вокруг Ферми уже в 1927 г. благодаря усилиям Корбино.

Вот как Сегре[15] описывает занятия, не связанные с университетскими курсами, которые Ферми проводил с нами:

«Они были совершенно импровизированными и неофициальными. Поздно вечером мы собирались в кабинете Ферми, и часто предмет разговора становился темой лекции. Например, мы спрашивали: „Что известно о капиллярности?“ И Ферми экспромтом читал красивую лекцию о теории капиллярности. Таким образом, мы занимались рядом предметов на „промежуточном“ уровне, соответствующем, например, знаменитой книге „Введение в теоретическую физику“ Планка или книгам Слейтера и Франка. Однако иногда уровень становился более высоким, и Ферми объяснял нам статью, которую сам только что прочел: так мы познакомились со знаменитой работой Шредингера по волновой механике. Эти лекции никогда не составляли регулярного „курса“. Относительно некоторых областей, о которых мы ничего не знали и по которым мы задавали Ферми вопросы, он ограничивался упоминанием хороших книг… Однако книги, которые он

предлагал, не всегда были самыми удачными, поскольку, очевидно, он упоминал те, которые изучил сам, а они не обязательно были хороши с педагогической точки зрения…

Занятия были посвящены главным образом теоретической физике, но между слушателями-теоретиками и экспериментаторами не делалось различий. Сам Ферми, который работал тогда только в области теоретической физики, также интересовался экспериментальными работами. Его знания и интересы охватывали всю физику, и он внимательно прочитывал несколько журналов. Он предпочитал конкретные проблемы и недоверчиво относился к слишком абстрактным или общим теориям. Но любая специфическая задача в какой-либо области физики — в классической механике, спектроскопии, термодинамике, теории твердого тела и т. д. — могла увлечь его, бросив вызов его уму и физической интуиции. Часто, разговаривая с ним, мы видели развитие красивого, простого и ясного объяснения загадочного явления.

В то время много раз нам представлялся случай быть свидетелями зарождения и выполнения нового и оригинального исследования. Конечно, невозможно было сказать, какая предварительная работа уже была выполнена Ферми сознательно или подсознательно. Наверняка у него не было ничего написанного. Мы присутствовали при развитии теории, которое происходило не слишком быстро, но практически без ошибок, неправильных начинаний или изменения направления мысли. Ферми как будто читал лекцию, хотя более медленно, и наконец наши записи (или по крайней мере соответствующие уравнения) были готовы для опубликования почти без переделок. Любопытная характеристика фермиевского способа работы состояла в постоянстве скорости, с которой он продвигался вперед. Если переходы были легкими, он все-таки продвигался медленно, и рядовой наблюдатель мог бы задать вопрос: «Почему он теряет так много времени на такую простую алгебру?» Однако, когда возникали такие трудности, которые остановили бы человека меньших способностей бог знает на сколько времени, Ферми решал их с той же скоростью. У нас создалось впечатление, что Ферми — каток, двигающийся медленно, но не знающий препятствий. Окончательные результаты были всегда ясными, и часто мы задавались вопросом: «Почему это не было найдено давно, раз все так просто и ясно?» Ферми навсегда сохранял в памяти один раз использованный им метод и применял его к задачам, совершенно отличающимся от той, которая породила физическую идею и математическую технику…

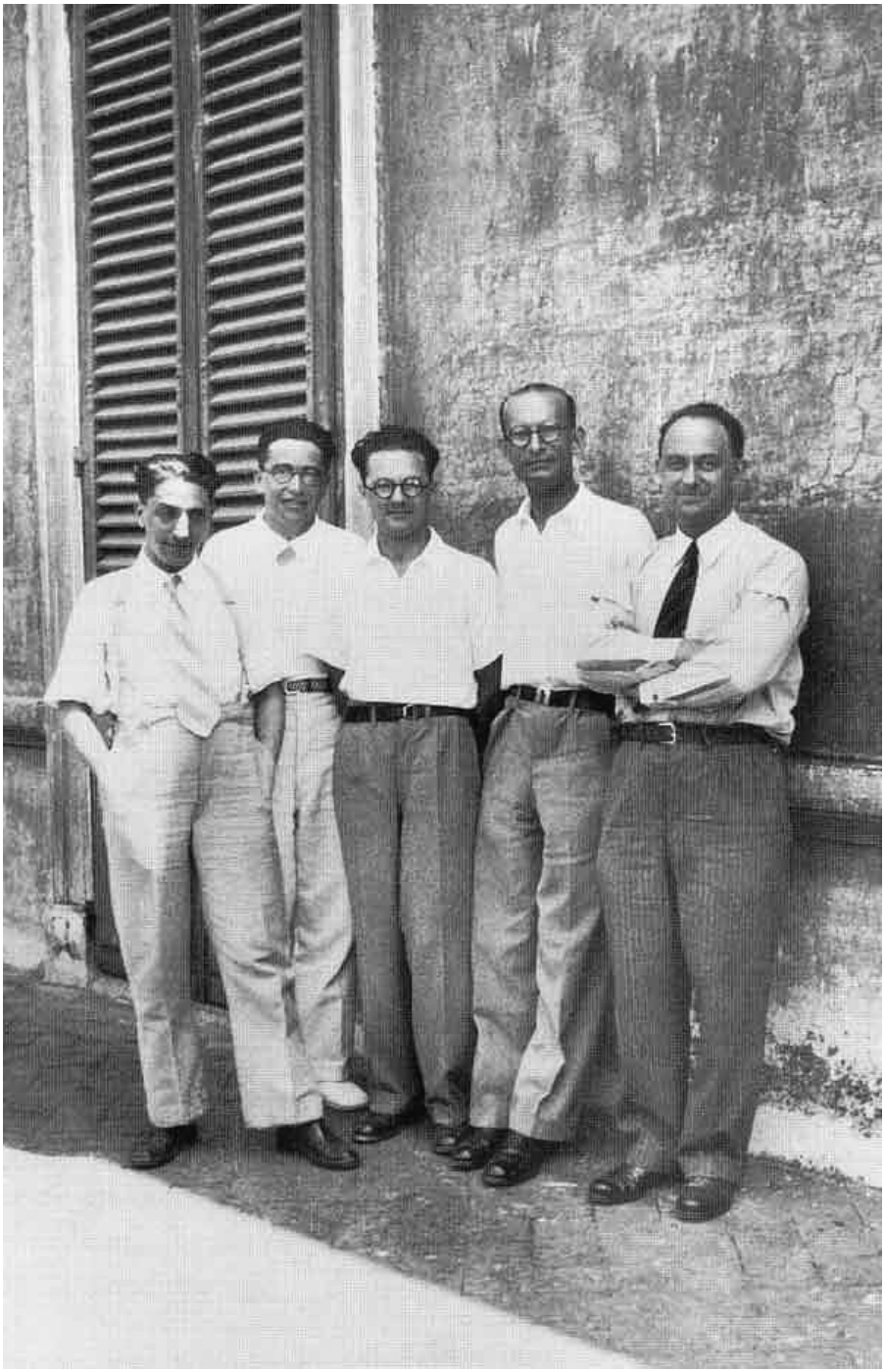
Скорость формирования молодого физика в этой школе была

невероятной…

Ферми не любил давать темы для дипломных работ или вообще для исследований. Он ожидал, что студенты сами найдут их или получат от старших товарищей. Причина этого, как он сам говорил, состояла в том, что ему было нелегко найти достаточно простые темы для начинающих… Крепкая, многолетняя дружба связывала всех участников этой группы. Разница в возрасте была невелика: самому старшему, Ферми, было 26 лет (в 1927 г.), а самому младшему, Амальди, — 19 лет. Корбино на вечерние занятия приходил редко. Однако он очень интересовался положением в группе, вопросами продвижения сотрудников по служебной лестнице и т. п. Как можно было ожидать, слухи о том, что происходит в Риме, быстро распространились среди молодых итальянских физиков, и скоро к нам стали приезжать Д. Джентилле, Б. Росси, Дж. Бернардини, Д. Рака, Ж. Вик, У. Фано и многие другие».

Впервые в этом столетии, благодаря Ферми, иностранные физики потянулись к итальянскому центру исследований. Эти физики, среди которых были Баба, Бете, Блох, Лондон, Пайерлс, Плачек, Теллер, Уленбек, принимали участие в семинарах Института физики вместе с небольшой группой итальянских ученых и студентов; число участников семинара не превышало десяти.

Среди участников семинара я хотел бы отметить Этторе Майорану, личность которого могла бы заинтересовать не только физиков, но и литераторов. По происхождению Майорана принадлежал к видной сицилианской семье; он учился на инженерном факультете Римского университета. В 1927 г. Майорана, тогда еще студент, стал членом неофициальной группы Ферми; впрочем, он продолжал работать в Институте, не получая жалованья, и после получения диплома (он был богатым, а институт — бедным; по-моему, не исключено, что судьба Майораны сложилась бы не так трагично, если бы ему приходилось зарабатывать себе на хлеб).



Энрико Ферми со студентами физического факультета во дворе Римского университета на улице Виа Паниперна, около 1934 года. Слева направо: Оскар Д'Агостино, Эмилио Сегре, Эдоардо Амальди, Франко Разетти и Энрико Ферми. Фотограф — Бруно Понтекорво

Спустя некоторое время после вступления в группу Ферми Майорана уже обладал такой эрудицией и находился на таком уровне понимания физики, что разговаривал с Ферми на научные темы на равных. Сам Ферми считал его крупнейшим физиком-теоретиком нашего времени, часто им восхищался, при этом иногда даже тушевался перед ним. Я точно помню слова Ферми: «Если задача уже поставлена, никто в мире не может решить ее лучше Майораны». Майорана был пессимистом по натуре — вечно был недоволен собой (и только собой). На семинарах он обычно молчал, но иногда нарушал молчание ради саркастического комментария или для того, чтобы сделать парадоксальное, хотя и очень существенное замечание. Я помню, как не раз на семинарах он терроризировал известных зарубежных физиков. Когда-то он был вундеркиндом. Это был математик большого масштаба и в то же время, как ни странно, живая «счетная машина». В «религиозной иерархии» института он имел звание «великого инквизитора». Трудно представить более различные характеры, чем у Ферми и у Майораны. Если Ферми был совершенно простым человеком (с маленькой оговоркой: он был гений), то характер Майораны был сложным и совсем не тривиальным. К великому сожалению Ферми, Майорана почти никогда не публиковал своих работ; его след в науке бесконечно менее значителен, чем мог бы быть. Начиная с 1932 г. Майорана все реже и реже встречался с другими физиками и в 1938 г. буквально исчез. По-видимому, он покончил с собой, но абсолютной уверенности в этом нет.

Семинары Ферми проходили в непринужденной обстановке и всегда много давали их участникам. Ферми был прирожденным учителем. Он не только мастерски проводил семинары и неофициальные лекции в узком кругу, о чем речь шла выше, но также блестяще читал курсы лекций студентам. Его лекции в университете по квантовой механике, атомной физике, математической физике, термодинамике и его любимый курс по геофизике отличались большой ясностью и стройностью изложения; это, однако, не было результатом особой тщательной подготовки к лекциям (Ферми почти никогда не готовился к ним), а объяснялось глубокими знаниями и исключительной ясностью ума. В конечном счете качество лекций являлось отражением его самостоятельной работы, проведенной еще школьником, когда он пытался осознать и понять различные явления природы.

В физике, по мнению Ферми, нет места для путаных мыслей, и физическая сущность любого действительно понимаемого

вопроса может быть объяснена без помощи сложных формул. Правильность такого мнения иллюстрировалась замечательной способностью Ферми быть понятным слушателям самого различного уровня. Он утверждал, что действительно понимающие природу того или иного явления должны уметь получать основные законы из соображений равномерности.

Ферми всегда подчеркивал огромную важность для студентов хорошей подготовки по классической физике, и он сам любил читать лекции по элементарной физике. Общий курс математической физики, прочитанный Ферми в Риме, представлял собой нечто вроде энциклопедии, содержавшей элементы электродинамики, теории относительности, теории теплопроводности, теории упругости и диффузии. Он очень возражал против курсов математической физики, посвященных чрезмерно узким проблемам. Мне помнится, как однажды он полусерьезно излагал группе сотрудников свои идеи о том, как следует реформировать высшее образование в университетах. «Возьмем, — сказал он, — для примера коллектив, скажем, из двадцати студентов-однокурсников, которому при настоящих порядках следует слушать лекции по пяти различным предметам у пяти преподавателей. Это не рационально, гораздо целесообразнее была бы „система менторов“, согласно которой каждый из пяти преподавателей возьмется за преподавание только четырем студентам всех пяти предметов». Мы возражали Ферми, что это будет хорошо только для тех четырех студентов, которые попадут в руки Энрико, а для других будет настоящая трагедия!

Невозможно провести грань между Ферми-физиком и Ферми-человеком. Своих студентов и сотрудников Ферми учил не только физике в прямом смысле этого слова. Собственным примером он учил их страстно любить физику, равно как и понимать дух и этику науки. Ферми упорно подчеркивал исключительную моральную ответственность ученого при опубликовании научной работы. В опубликованных работах Ферми обнаруживается почти педантичное внимание к точности выражений, в них не встретишь излишне категоричных утверждений и т. д. Но его совершенно не заботила элегантность стиля и формы статей: для него важнее всего было содержание работы и ясность изложения.

Ферми нетерпимо относился к часто встречающейся тенденции экспериментаторов переоценивать точность своих измерений. В институте было известно «правило», которым руководствовался Ферми в отношении к новому или «странному» результату: увеличь втрое приведенную экспериментатором ошибку измерения и только после этого начинай свое

рассуждение.

Несмотря на его оригинальность и интуитивное чутье нового, Ферми был того мнения, что в науке новые законы надо принимать только в том случае, когда нет иного выхода. Ему очень не нравилось стремление некоторых физиков найти «сверхновое», не исчерпав всех возможностей в рамках уже существующих принципов и законов. Если у читателя создалось впечатление, что Ферми был консерватором в науке, то я плохо рассказал о нем. Речь идет не о консервативности подхода Ферми, а о его фундаментальности. Что же касается его подхода к жизни, политике, искусству и т. д., то действительно было бы правильно назвать его консерватором.

Ферми глубоко презирал научный авантюризм, субъективизм в науке, тенденцию некоторых экспериментаторов получать именно те результаты, которые им априори хочется найти. Он считал совершенно антинаучной и вредной для развития физики поспешность в опубликовании научных работ, вызванную желанием завоевать приоритет, и встречающуюся в некоторых лабораториях атмосферу «охоты за открытиями». Я помню такой случай тридцатых годов. В одной статье, по мнению Ферми, совсем неубедительной (вследствие нечеткости постановки опыта и недоброкачественности самих измерений), группа иностранных физиков опубликовала сообщение об обнаружении дифракции медленных нейтронов. Несколько позже в печати появилось описание безупречных экспериментов другой зарубежной группы по этому вопросу. Ферми был возмущен тем, что приоритет в какой-то мере будет принадлежать первой группе, которая его не заслуживает. «И самое печальное, — сказал он, — то, что против этой системы ничего нельзя предпринять». Более того, по мнению Ферми, совершенно недостойной является привычка некоторых ученых при опубликовании своих экспериментальных работ «между прочим» приводить ненадежные данные (с надеждой завоевать приоритет) и не считать для себя позором, если кто-либо опровергнет эти данные. Он презирал также саморекламу в науке.

Пленительная ясность мысли, характерная для лекций Ферми, относится также и к его книгам (Ферми написал их более десяти) и статьям, не только оригинальным, о чем шла речь выше, но и обзорным и популярным.

Ферми писал свои книги так же, как и читал лекции, — предельно ясно и, казалось, с минимальным усилием. Я помню, как еще студентом занимался по рукописи книги «Молекулы и кристаллы», когда автор еще писал ее. Каждое утро, между 6 и 8 часами, Ферми аккуратно писал на нечетных страницах тетради,

оставляя четные страницы для возможных поправок. Однако когда рукопись книги была готова к печати, число поправок оказалось совершенно ничтожным.

Удивляло также то, что Ферми мог писать, почти не прибегая к другим статьям или книгам. Кстати, однажды это привело к неожиданному результату, в связи с которым друзья Ферми долго подсмеивались над ним. В написанной Ферми книге по физике для средних школ итальянского физика XVII столетия Эванджелиста Торричелли он перекрестил Джиованбаттиста Торричелли (а знаменитых итальянских физиков не так уж много).

Вообще Ферми мало читал, а тем более мало покупал книг по физике после окончания университета; он предпочитал самостоятельно разработать заинтересовавший его вопрос, нежели найти готовый ответ.

Ферми также проводил сравнительно мало времени за научными журналами, хотя он всегда был великолепно осведомлен о происходящем в мире физики. Это достигалось «вытягиванием», по выражению самого Ферми, сведений в непосредственном разговоре с другими физиками. Вспоминается случай, иллюстрирующий еще одну характерную для Ферми черту — способность давать советы специалистам, работающим в других, даже мало знакомых ему областях. В 1942 г. мне довелось встретиться с Ферми в Чикаго. Я в то время работал в области применения ядерной физики к разведке месторождений нефти (нейтронный и гамма-кароттаж). Поскольку Ферми не был знаком с этими методами, он, конечно, начал «вытягивать» сведения из меня. Вскоре он уже сам давал мне советы и высказывал многочисленны идеи, послужившие основой для дальнейшей длительной работы в этой области.

Научная деятельность в Риме

Кипучая теоретическая деятельность Ферми со времени опубликования работы по статистике (1926) до конца 1933 г., когда он начал работать в области ядерной физики, шла по трем главным направлениям.

Во-первых, Ферми в течение нескольких лет осваивал квантовую механику (а затем квантовую электродинамику) и успешно объяснял и страстно пропагандировал ее в научных кругах. Его «проповеди» пользовались громадным успехом у молодежи и ничтожным — у ученых старшего поколения (в частности, у группы выдающихся римских математиков), которые не сумели принять революционного духа новой теории. Эту его деятельность в период с 1926 по 1930 г. лучше охарактеризовать словами ее очевидца Э. Сегре.

«Первыми были поняты статьи Шредингера, которые вызвали большой интерес и энтузиазм. Ферми быстро объяснил их своим друзьям, позже — Корбино, который оставался скептиком некоторое время; еще позже он выступил на эту тему на математическом семинаре, где профессиональные математики старшего поколения, и не очень хорошо знакомые с экспериментальными основами физики, выдвинули несколько остроумных возражений против общепринятой интерпретации квантовой механики.

В частности, профессор Кастельнуово поднял многочисленные вопросы. Ферми был склонен к нетерпимости по отношению к людям, не принимавшим нового развития квантовой механики, но, конечно, он относился по-разному к некомпетентным возражениям, которых было много, и к действительным настоящим трудностям вроде тех, на которые было указано Кастельнуово.

Нередко он сожалел, что даже те люди, к которым он испытывал уважение и которыми восхищался, такие как Корбино, иногда проявляли скептицизм по отношению к квантовой механике и ее интерпретации, что являлось, как он думал, результатом недостаточного понимания. (Следует сказать, однако, что в последние годы своей жизни Ферми был менее убежден в том, что обычная интерпретация квантовой механики является последним словом.) Сопротивление квантовой теории оказывало в основном старшее поколение физиков, поскольку молодые физики либо поняли новую теорию и поверили в нее, либо научились использовать эту теорию, даже не полностью разобравшись в ней.

Приход квантовой механики, по мнению Ферми, а также Корбино, означал завершение атомной физики. Фундаментальные вопросы были решены, будущее находилось в области ядерной физики и в исследовании сложных биологических структур».

Я хотел бы несколько дополнить последние слова Сегре. Когда я приехал в Рим в 1931 г., Ферми часто утверждал (полусерьезно), что физика идет к концу (как и география) в том смысле, что скоро все будет ясно. Он думал, что будущее принадлежит генетике. При этом сам читал с большим интересом и рекомендовал сотрудникам книгу «Наука о жизни» Уэллса и Хаксли. Как ни странно, эти идеи о бесперспективности физики были у Ферми в 1931–1932 гг., на заре невиданного скачка современной физики, которому он сам значительно способствовал.

К деятельности Ферми в выяснении основ новой физики следует особенно отнести его переформулировку квантовой электродинамики, которая представляет собой блестящий (и типичный для Ферми) пример ясной трактовки трудного вопроса.

Второе важное направление теоретической деятельности данного периода состояло в продолжении его работ по статистической механике. В 1928 г. он (независимо от Томаса) применил свою статистику к определению среднего электрического потенциала в атоме (метод Томаса — Ферми).

Наконец, своими теоретическими работами Ферми внес неоценимый вклад в учение о структуре атомов и молекул. Особо следует упомянуть о совокупности теоретических работ по структуре молекул, в которых Ферми дает количественное объяснение различных экспериментальных наблюдений (книга «Молекулы и кристаллы»). Эти проблемы, интересовавшие Ферми в 1931–1933 гг., были связаны с основными экспериментальными исследованиями института, который по традиции и особенно благодаря Разетти в основном был первоклассной спектроскопической лабораторией.

Ферми разработал также количественную теорию сверхтонкой структуры спектральных линий, оставив и в этой области физики неизгладимый след. Кстати, уже тогда в течение нескольких лет Ферми был того мнения, что институт должен заняться ядерной физикой. Исследование сверхтонкой структуры спектральных линий, обусловленной, согласно Паули, взаимодействием орбитального движения электрона е магнитным моментом ядра, явилось естественным «мостом» при переходе интересов Ферми и лаборатории в целом от атомных проблем к ядерным.

В качестве дебюта в области чисто ядерной физики Ферми

опубликовал в 1934 г. свою известную теорию бета-распада — классическую работу, основанную на гипотезе Паули о том, что в бета-процессе одновременно с электроном испускается нейтрино. Имеющая сама по себе большое значение, эта работа явилась и прототипом современных теорий взаимодействий элементарных частиц. Ферми направил эту работу в английский журнал «Nature» для срочного опубликования в отделе «Письма в редакцию». Это означало, что он сам вполне осознавал значение данной теории, в создании которой ему очень помогло близкое знакомство с дираковской теорией излучения. Однако редакция «Nature» отказала ему в опубликовании работы на том основании, что она слишком абстрактна и не представляет интереса для читателей. Это была действительно самая абстрактная из теоретических работ Ферми, но не приходится сомневаться в том, что редактор всю жизнь сожалел о своем «диагнозе». В настоящее время считают, что найденное Ферми взаимодействие между нуклонным полем и полем пары электрон-нейтрино представляет собой частный случай более общего взаимодействия между любыми четырьмя фермионами — так называемое универсальное фермиевское взаимодействие, крайне малая интенсивность которого определяется малым значением «константы Ферми».

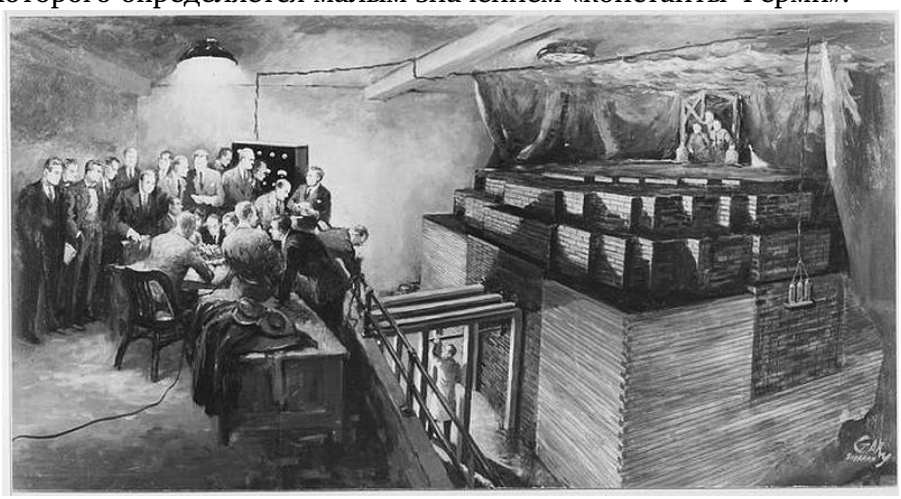


Рисунок реактора во время первого эксперимента (художественная реконструкция по воспоминаниям очевидцев). 1942 г.

Несмотря на то, что исследовательская деятельность Ферми до 1934 г. носила почти исключительно теоретический характер, скрытый экспериментатор изредка пробуждался в нем. Был, например, такой случай. Ферми получил корректуру своей книги «Молекулы и кристаллы». Один из снимков, на котором было

изображено чередование интенсивностей в молекулярном спектре азота, не удовлетворил автора книги. Ферми немедленно нашел подходящий свободный спектрограф и сам изготовил хороший снимок.

Первые крупные экспериментальные работы Ферми выполнил в области ядерной физики (1934 г.). Этим работам, за которые Ферми получил Нобелевскую премию, предшествовали два события: поездка Разетти в Германию с целью изучения экспериментальных методик ядерной физики и обсуждение на семинаре института под руководством Ферми классической книги Резерфорда по радиоактивности.

Сразу же после открытия Фредериком и Ирен Жолио-Кюри явления искусственной радиоактивности Ферми пришел к выводу, что нейтроны, поскольку они не имеют заряда, должны быть особенно эффективным орудием получения радиоэлементов, и со свойственной ему энергией начал систематически облучать нейтронами почти все существующие элементы. Нет необходимости напоминать здесь о всех поразительных результатах экспериментов Ферми: получение более 60 радиоактивных изотопов; открытие замедления нейтронов и большой вероятности их захвата в таких элементах, как кадмий и бор; открытие «групп» нейтронов и т. д. Все эти блестящие и совершенно неожиданные открытия были опубликованы в виде коротких сообщений в итальянском журнале «Ricerca scientifica», превратившемся благодаря Ферми из совершенно неизвестного издания в журнал международного значения. Только за год лаборатория спектроскопии выроста в первоклассную, хотя и маленькую лабораторию ядерной физики.

Римская лаборатория была действительно маленькой. Общее число научных сотрудников и механиков, работавших с Ферми, едва достигало десяти. Ежегодно с дипломом физика университет оканчивали один-два студента, несмотря на то, что на физико-математическом факультете профессорами были Ферми, Разетти, Вольтерра, Леви-Чивита… Малое число дипломантов объяснялось незавидными перспективами, открывавшимися тогда перед молодыми физиками в Италии.

Что касается средств, необходимых для исследовательских работ, то фашистское правительство, так щедро помогавшее крупным промышленникам, оказалось довольно скупым, когда речь шла о финансировании науки. Однажды с целью экономии средств Ферми решил, что стандартные электрические вилки следует изготовлять в лабораторной мастерской: он провел два дня с механиком, стараясь найти удобный способ их изготовления, но после этого ему пришлось оставить свое

предложение как… неэкономичное!

Кстати, затраты на нейтронные исследования Ферми и сотрудников в Риме были удивительно мелкими. Кроме зарплаты физиков и ничтожной официальной дотации института на оборудование и материалы для всех нейтронных работ, была получена субсидия (около 1000 долларов) от Национального совета по исследованиям.

Участие Ферми в качестве исполнителя в экспериментальных работах было всегда непосредственным; он не только руководил, но и любил работать своими собственными руками. В частности, Ферми был неплохим стеклодувом. Непосредственное и повседневное участие Ферми в работе, руководимой им, было возможно только потому, что он упорно отказывался занимать административные должности. Немногие знают, что он никогда не был во главе лабораторий, в которых работал.

Ферми в лаборатории всегда сохранял неизменное спокойствие. Говорили, что в 1942 г., когда первый ядерный реактор, построенный им, приближался к критическим условиям, Ферми прервал общее напряжение известной фразой: «Пойдем обедать». Почти за десять лет до этого случая, когда в Римском институте физики случайно, хотя и не без фермиевской интуиции, было обнаружено, что водородсодержащие вещества вызывают увеличение уровня активации при облучении нейтронами, Ферми охладил пыл своих сотрудников той же фразой: «Пойдем обедать». К концу обеда Ферми уже объяснил открытие (эффект Ферми) как явление замедления нейтронов и заметил: «Как глупо, что мы не предсказали этого раньше». Примерно через год основы той области физики, которая сегодня носит название «нейтронной», были так ясно сформулированы Ферми, что некоторые его статьи, в частности работы «Поглощение и диффузия медленных нейтронов» и «О движении нейтронов в средах, содержащих водород», сегодня, 30 лет спустя после опубликования, являются лучшим введением в этот раздел физики, одинаково интересующий как физиков, так и инженеров.

В период с 1934 по 1936 г. Ферми целиком посвятил себя нейтронным исследованиям. Вследствие этого в жизни Института физики, естественно, произошли заметные изменения — Ферми был вынужден прекратить свою неофициальную педагогическую деятельность с подающими надежды студентами. Крайняя занятость Ферми в экспериментальной работе привела к тому, что зарубежные физики почти перестали приезжать к нему учиться. Забегая вперед, отмечу, что в последние годы жизни Ферми вернулся к старому обычаю римского периода — к специальным занятиям с молодежью; сегодня его учениками считают себя

Андерсон, Вольфенштейн, Гарвин, Гелл-Манн, Гольдбергер, Ли, Маршал, Орир, Розенфельд, Штейнбергер, Уаттенберг, Чемберлен, Чу, Янг и многие другие.

В опытах, выполненных в Риме в 1934–1935 гг., бомбардировка урана нейтронами вызвала образование ряда радиоактивных элементов, среди которых, по мнению Ферми, был и элемент с атомным номером 93. Как стало ясно впоследствии, эти элементы в действительности оказались продуктами деления, и, хотя при бомбардировке урана образуются трансурановые элементы, сообщение Ферми об элементе 93 было неверно — единственная ошибка в течение его долгой и блестящей исследовательской деятельности. Это, надо отметить, не затормозило развития исследований, которые привели к открытию деления. Однако Ферми очень переживал опубликование работы по элементу 93, точнее, шумное обнародование (против его воли) результатов этой работы в газетах.

В Римском институте физики Ферми получил прозвище «папы», с которым обращались к нему все его сотрудники и друзья не только в Риме, но и во всем мире. Прозвище это означало, что Ферми (в области физики) непогрешим так же, как считается непогрешимым в вопросах религии глава католической церкви — папа римский. Ферми, конечно, остался «папой» даже после случая с элементом 93.

Что же особенно выделяло Ферми среди других известных экспериментаторов? Его не отличало какое-либо особое искусство конструирования сложной аппаратуры и постановки «акробатических» экспериментов (впрочем, он быстро овладел и этим искусством, когда в том появилась необходимость). Конечно, Ферми был в высшей степени энергичным, работоспособным, терпеливым и упорным; но этими качествами обладали, вероятно, все великие естествоиспытатели. По-видимому, уникальная черта Ферми, ученого XX века, заключалась в объединении экспериментального подхода с теоретическим — черта, которая была свойственна великим физикам прошлого века. Он сам часто говорил, что разделение физики на теоретическую и экспериментальную — это вредная вещь. Именно благодаря этой его черте он всегда умел ставить самые существенные вопросы и затем быстро отвечать на них с помощью самых простых, но адекватных для решения поставленной задачи экспериментов.

«Аппаратурной эстетикой» он совершенно не увлекался. Единственное, что он требовал от своих экспериментальных установок, это то, чтобы они действовали так, как он наметил. В

связи с этим мне вспоминается один эпизод. Однажды Разетти критиковал Ферми за то, что он изготовил некрасивую установку. «Но она работает», — заметил Ферми. Теперь уже рассерженный Разетти наступал: «Энрико, в экспериментальной работе ты способен на недостойные поступки. Посмотри на этот электрометр Эдельмана (Разетти имел в виду блестящий, хромированный, нарядный и прекрасный прибор, бывший в наших глазах символом технического совершенства); если бы ты считал, что для получения некоторых сведений его следует смазать „куриной кровью“ (на нашем жаргоне мы так именовали широко использовавшуюся в лаборатории красноватую и неаппетитно выглядевшую мастику), ты бы сделал это. А я не способен на такой поступок, даже если бы был уверен, что это даст мне Нобелевскую премию. Признайся, Энрико, что ты бы так сделал». И Ферми, который высоко ценил экспериментальный талант Разетти, спокойно ответил: «Конечно, я выкупал бы все наши электрометры в „куриной крови“, если бы это помогло узнать что-нибудь существенное».

Жизнь Ферми в Риме

Личная жизнь Ферми с того времени, когда он обосновался в Риме, протекала спокойно и благополучно в течение нескольких лет, примерно до 1936 г. Он женился в 1928 г. на синьорине Лауре Капон, ставшей впоследствии автором переведенной на русский язык популярной книги «Атомы у нас дома». Как мы увидим, это событие десять лет спустя стало главной причиной того, что Ферми вместе с семьей покинул родину. В 1929 г. Ферми был несколько неожиданно избран, по-видимому, благодаря сенатору Корбино, членом Королевской академии Италии. Это была новая академия, созданная Муссолини для увеличения престижа фашистского режима. Члены академии получали значительное вознаграждение. Избрание в академию заметно увеличило доходы Ферми, принесло звание «его превосходительства» и довольно смешной мундир. Полученная таким образом материальная обеспеченность, позволила ему более устремленно сконцентрировать свои усилия на научной работе. Он категорически отказался не только от административных и руководящих должностей, которые, как правило, сопровождают избрание на такие посты: теперь для Ферми стало возможным постепенно оставить редакторскую работу в отделе физики Итальянской энциклопедии Треккани (эту должность он получил в 1928 г. благодаря сенатору Корбино в виде «компенсации» за то, что остался в Риме, отказавшись от почетного и выгодного предложения занять бывшую кафедру Шредингера в Цюрихе).

Ферми вел размеренную жизнь и почти никогда не изменял своим привычкам. Теоретической работой он занимался с половины шестого утра до половины восьмого. В институт, который находился в живописной местности, вблизи от центра, но все-таки достаточно далеко от всякого шума, он приезжал не позже девяти утра. Официальные университетские лекции он читал с утра. На обед и отдых (или теннис три раза в неделю) отводилось время с 13 до 15 часов. В воскресенье утром он просматривал периодическую литературу в институте, разговаривал с Корбино и со своими сотрудниками обычно на научные темы. В воскресенье после обеда — прогулки с женой, сотрудниками и их женами. Во время рождественских каникул он ходил на лыжах. Лето проводил либо в Альпах на отдыхе, либо читая лекции за границей. Во время летнего пребывания за границей он обычно писал книгу или обзор, отражавшие содержание прочитанных лекций. Так родилась его знаменитая

статья «Квантовая теория излучения» (лекции, прочитанные в 1930 г. в Мичиганском университете) и книга «Термодинамика» (лекции, прочитанные в Колумбийском университете в 1936 г.).

Так очень эффективно, хотя и спокойно и без спешки, проходило у Ферми время приблизительно до 1936 г. Как правильно заметил Сегре[16], «нейтронные исследования были проведены так быстро только потому, что они выполнялись маленькой группой, работающей в полной гармонии и без административных препятствий».

Общаясь с весьма узким кругом университетской интеллигенции, которому мир героического антифашистского итальянского рабочего класса был совершенно неизвестен, Ферми не проявлял интереса к политике. До 1936 г. фашистская диктатура не очень мешала исследовательской работе института. К тому же положение в Италии казалось много лучше, чем в Германии, что и подчеркивалось некоторыми физиками группы Ферми, работавшими временно в Германии и возвратившимися в Италию. Несмотря на свою аполитичность, во время пребывания в Риме в период фашистской диктатуры Ферми сохранил свою непоколебимую научную честность, находясь даже в совершенно развращенной фашистской Королевской академии Италии. В частности, в академии и в университетах он всегда боролся за признание научных достижений, а не заслуг перед фашистским государством, как критерия при выборе ученых на университетские кафедры и другие должности.

Положение лаборатории начало ухудшаться с того момента, когда Муссолини подготовил и начал агрессию против Абиссинии, и продолжало ухудшаться после того, как фашистская Италия и нацистская Германия стали союзниками в позорной войне против испанского народа, и, наконец, после аннексии Австрии Германией. Фашистский режим, который вначале был орудием крупного итальянского монополистического капитала, стал невольно марионеткой более серьезного хозяина — агрессивного немецкого империализма.

Вместе с этим были и другие трудности, которые препятствовали нормальной работе Ферми в Физическом институте и привели его к решению покинуть родину: потеря некоторых сотрудников, которые уже не работали в Риме, кончина профессора Корбино и назначение на пост директора института человека, который не питал никакой симпатии к исследованиям Ферми, и, наконец, антисемитские фашистские законы, которые непосредственно его не касались, но могли угрожать его семье (жена Ферми была итальянкой еврейского происхождения, сам он был католиком).

Фотография Энрико Ферми с пропуска в лабораторию в Лос-Аламосе

Благоприятный случай представился в 1938 г. Ферми был награжден Нобелевской премией за исследовательские работы по свойствам нейтронов и вместе с семьей уехал из Стокгольма, куда он ездил за премией, в Нью-Йорк. Он покинул родину без шума; практически никому не было известно, что его поездка за границу безвозвратна. Некоторое время спустя (также без шума) он

обратился к итальянским авторитетным лицам с просьбой передать его академическое жалование в помощь молодым ученым. (В Италию он приезжал на Международный конгресс физиков десять лет спустя, уже после войны; его приняли триумфально.)

Впоследствии Ферми собственным примером внес значительный вклад в то, чтобы рассеять весьма распространенное в капиталистических странах мнение о том, что «итальянец» и «фашист» — синонимы. И не случайно, что сегодня в Италии именно неофашистская печать не считает для себя позором оскорблять память человека, которым весь итальянский народ вправе гордиться как одним из своих лучших сынов.

Атомная энергия

В Нью-Йорке, в физическом отделении Колумбийского университета, который наряду с другими высшими учебными заведениями США предложил Ферми постоянную должность, он работал и ранее, до награждения Нобелевской премией; там у него были хорошие друзья. Поэтому он принял должность профессора физики Колумбийского университета и с семьей поселился в Нью-Йорке.

Там он создал (1939 г.) количественную теорию ионизационных потерь энергии заряженными частицами, учитывающую поляризацию вещества, через которое эти частицы проходят. Из этой теории, которая впоследствии подтвердилась опытом и теперь стала классической, следует, что тормозная способность веществ зависит от степени их конденсации (фермиевский эффект плотности).

Возобновление экспериментальной деятельности Ферми в США определилось тем, что сразу после открытия Ганом и Штрассманом деления урана нейтронами он понял, какие революционные возможности могли вытекать из этого явления В Пьюпиновской лаборатории некоторые физики как раз заинтересовались проблемой урана. Один из них, Г. Андерсон, по характеру, складу ума и научным склонностям очень напоминал Амальди, идеального помощника Ферми в его экспериментальной работе. К тому же лаборатория имела хороший циклотрон. Итак, Ферми с Андерсоном образовали ядро небольшого коллектива, из которого затем выросло огромное научно-техническое учреждение — так называемая Металлургическая лаборатория в Чикаго. Ферми со своей склонностью все делать самому и римским опытом работы с микроскопическим коллективом, конечно, не предвидел такого превращения.

Независимо от группы экспериментаторов, работавших под руководством Жолио-Кюри, Ферми скоро экспериментально доказал, что при делении урана испускается несколько нейтронов — а это говорило о возможности цепной реакции.

С этого времени (1939 г.) вся деятельность Ферми на несколько лет была посвящена проблеме овладения атомной энергией: добился он этого в декабре 1942 г. в Чикаго. Ферми назвал первый ядерный реактор «pila», что по-итальянски означает нечто сложенное из многих одинаковых слоев, подобно тому, как вольтов столб, первый источник постоянного тока, по-итальянски называется «pila» Вольты. Ясно, что «pila» Ферми имеет не меньшее историческое значение, чем «pila» Вольты.

После создания первого реактора во время Второй мировой войны Ферми продолжал свои исследования в области мирного и военного применения атомной энергии в Чикаго, а с 1944 г. — в Лос-Аламосе, при этом, заметим, он не был ни директором Чикагской металлургической лаборатории (возглавлявшейся С. Аллисоном), ни Лос-Аламосской научной лаборатории (руководившейся знаменитым физиком Р. Оппенгеймером). Вот рассказ Сегре[17] о деятельности Ферми в Лос-Аламосе.

«У Ферми не было никакой специфической научной обязанности, ни административной ответственности; правда, он состоял членом Руководящего совета лаборатории, с которым директор консультировался по всем важным вопросам, но, по существу, в лаборатории он был кем-то вроде „оракула“, работа которого заключалась в решении проблем, находящихся выше обычных способностей коллектива (и какого коллектива). Дж. фон Нейман, который был там консультантом, был также „оракулом“. В Лос-Аламосе Ферми прямо интересовался только кипящим котлом (гомогенным реактором); но вообще, повторяю, он участвовал в работах по всем новым или необычным проблемам. Помню, я присутствовал в его кабинете на обсуждениях гидродинамических проблем вместе с фон Нейманом. Обсуждения приняли странную форму соревнования перед черной доской: кто первый решит проблему. Фон Нейман, пользуясь своим непостижимо быстрым аналитическим искусством, обычно выигрывал. Иногда такие обсуждения прерывались неожиданными событиями. Например, во время одной из этих гидродинамических дискуссий я был свидетелем прихода одного эксперта по электронике, который находился перед новой и очень трудной проблемой в создании нужной электронной схемы. В течение двадцати минут Ферми придумал схему, которая могла решить проблему; однако никто не знал, существует ли лампа с необходимыми особыми характеристиками. Консультация со справочником обнаружила, что требуемая лампа имеется; соответствующий прибор был скоро создан и удовлетворительно работал».

Ферми работал над созданием атомной бомбы и принимал участие в испытании ее первого образца. Ряд дальновидных ученых США во главе с Лео Сцилардом и лауреатом Нобелевской премии Дж. Франком обратились к правительству США с настоятельной просьбой не использовать это ужасное оружие в военных операциях, но, к сожалению, трое видных ученых, входивших в состав правительственного совета по ядерным делам, Лоуренс, Оппенгеймер и Ферми, рекомендовали использование атомной бомбы в войне против Японии. Это факт,

но, конечно, не им была определена трагическая судьба Хиросимы; все было предрешено военными кругами США.

Теперь хорошо известно, что при использовании атомной бомбы в конце мировой войны правительство США никак не руководствовалось требованиями военной ситуации: ужас Хиросимы нужен был ему как первый акт атомной дипломатии.

Конец войны застал Ферми в Лос-Аламосе.

Здесь невозможно дать хотя бы отдаленное представление о той колоссальной работе, которую выполнил Ферми в области атомной энергии. Большинство работ этого периода (1939–1945 гг.) были засекречены и впервые появились в печати в недавно вышедшем за рубежом издании сочинений Ферми. В СССР собрание сочинений Э. Ферми уже подготовлено к печати и будет издано в серии «Классики науки». Вошедшие в него работы Ферми данного периода достаточно подробно описывают огромную исследовательскую работу, представляющую большой интерес для истории науки и технологии да и для истории вообще.

Работы, выполненные Ферми совместно с Андерсоном, по замедлению и диффузии нейтронов в графите являются примером экспериментального и теоретического мастерства. Многие научные термины, принятые в этой области, носят имя Ферми: нейтронный «возраст» по Ферми, фермиевская тепловая колонка и т. д. Здесь же следует напомнить о методе Ферми определения критических размеров реагирующей среды в опытах, выполненных при относительно маленьком количестве урансодержащего вещества (экспоненциальный опыт Ферми). Опыт, описание которого можно найти во всех книгах, посвященных ядерным реакторам, так прост, что сегодня трудно представить себе иной подход к рассматриваемому вопросу. Кстати, многие из фермиевских результатов по исследованию реакторов, и вообще в развитии «нейтроники», отражены в великолепных «Лекциях по нейтронной физике», прочитанных для молодых ученых Лос-Аламосской лаборатории. Как видно, от преподавательской деятельности Ферми не отказался даже в период крайне напряженной экспериментальной работы.

Последний период научной деятельности

После войны Ферми принял должность профессора физики Чикагского университета (1946 г.) и стал одновременно сотрудником только что созданного Института ядерных проблем (теперь носящего его имя). Он отказался от поста директора института, и директором стал его старый друг С. Аллисон. Теперь институт возглавляет его ученик Андерсон.

Используя построенный им реактор на тяжелой воде в качестве источника нейтронов, Ферми открыл новую главу в области ядерной физики — нейтронную оптику.

Создатель ядерной науки Резерфорд сказал, что ученики не позволяют ему стареть. Это утверждение верно для большинства ученых, достойных звания наставника. Что же касается Ферми, то до конца своей жизни он был моложе духом любого своего ученика или сотрудника. И до конца своих дней Ферми оставался студентом, всегда полным страстного желания получить новые знания.

В возрасте около 50 лет Ферми, имевший в своем распоряжении ряд реакторов для фундаментальных исследований в крайне интересной, им же созданной области, решает полностью изменить направление своей деятельности и посвящает себя исследованиям частиц высоких энергий. В частности, его привлекает одна из центральных проблем современной физики — проблема мезон-нуклонного взаимодействия. Его исследования (1953 г.) рассеяния положительных и отрицательных π-мезонов протонами открыли еще одну новую главу экспериментальной и теоретической физики.

В работах по рассеянию π-мезонов на водороде особенно ярко выступает личность Ферми как выдающегося теоретика и экспериментатора. В этих работах он участвовал не только как руководитель, но и как непосредственный исполнитель, это видно хотя бы из того, что он разработал, например, конструкцию внутренней мишени синхроциклотрона, управляемой дистанционно.

В работах по π-мезонам, как и в других работах, неизгладимый след идей и личности Ферми оставался не только в содержании его исследований, но также и в особых методических подходах, в новых научных выражениях и даже в крайне удачных обозначениях. Между прочим, Ферми был того мнения, что вопрос о простоте обозначений имеет первостепенное значение в теоретической физике.

Невозможно получить представление обо всем объеме его теоретической деятельности по опубликованным статьям: для публикации он отобрал лишь незначительную часть своих работ. Вот почему нет ни одной невыдающейся теоретической работы зрелого Ферми. Результаты неопубликованных работ, однако, Ферми записал в краткой форме и сохранил в многочисленных тетрадках, составлявших, как он сам сказал, его искусственную память.

Из теоретических статей Ферми в области высоких энергий особое место занимают две, касающиеся так называемого фермиевского механизма ускорения первичных космических лучей и теории множественного образования мезонов. Обе основаны на идеях столь же простых, как и поразительных.

В основе объяснения (1949 г.) механизма ускорения первичных частиц в космических лучах лежит следующее рассуждение, основанное на принципе равномерного распределения энергии. Рассмотрим соударения микрочастиц с движущимися макроскопическими телами. Хотя в отдельном столкновении частицы могут потерять или увеличить свою энергию, в конечном счете имеется тенденция к статистическому равновесию, а это означает, что частицы при соударениях с макроскопическими телами в среднем ускоряются. Согласно теории Ферми, заряженные частицы отклоняются магнитными полями, связанными с межзвездным проводящим газом, и в конце концов стремятся приобрести энергию, равную энергии движущегося газа в целом. Эта работа имеет большое значение не только для физики космических лучей; в ней содержатся основополагающие идеи и подходы к таким областям, как физика плазмы, космофизика и астрофизика.

Это не единственная работа Ферми, имеющая астрофизическое значение; давным-давно он тянулся к астрофизике, но только в последние годы своей жизни ему удалось достичь вершины и в этой области науки.

В теории множественного образования частиц (1950 г.) процесс соударения при очень высоких энергиях рассматривается при помощи статистических и даже термодинамических методов. До сих пор фермиевские идеи остаются основополагающими в области физики сверхвысоких энергий.

Такое поразительное долголетие идей Ферми объясняется тем, что он обладал исключительной физической интуицией. Ферми всегда находил наиболее простые подходы к решению самых сложных практических задач. Что же касается исследований фундаментального характера, то избранные Ферми большие проблемы становились всегда простыми, хотя эта

простота, конечно, появлялась только после того, как он их блестяще разрешал.

Можно привести много примеров замечательной интуиции Ферми. Не проявлением ли интуиции был вопрос, который на одном из семинаров он задал Марии Гепперт-Майер? Она поблагодарила его за этот вопрос в своей знаменитой работе о модели ядерных оболочек, за которую много лет спустя была удостоена Нобелевской премии, следующими словами: «Я признательна Энрико Ферми за его замечание в виде вопроса, имеется ли хоть какое-либо указание, свидетельствующее в пользу спин-орбитальной связи, которое и породило настоящую работу».

Еще одно далеко идущее замечание сделал Ферми, когда М. Гелл-Манн в начале 50-х годов предложил ввести «странность» элементарных частиц. В схеме Гелл-Манна было необходимо, чтобы К0-мезон отличался от К-0-мезона, причем распады обеих этих частиц считались в то время тождественными. И вот Ферми спросил Гелл-Манна: «Как вы можете представить себе К0 и К-0 различными, если они распадаются неразличимым образом?» Как теперь ясно, в этих словах скрыта глубокая догадка о дуальных свойствах нейтральных каонов и вообще о том круге физических проблем, относящихся к свойствам нейтральных каонов, который вскоре вырос в самую волнующую главу физики элементарных частиц.

Я хотел также рассказать об одной привычке Ферми, которая была известна только тем, кто хорошо знал его. Хотя Ферми никогда не боялся трудностей (в частности, математических) в своей работе, все-таки он не любил их подчеркивать при изложении результатов. Таким образом, в лекциях или беседах Ферми всегда можно было видеть отчетливое стремление обойти трудности. Эта черта его характера иногда приводила к довольно любопытным эпизодам. Это происходило чаще всего тогда, когда Ферми, убедившись в правильности некоторого нового результата (конечно, доказанного им со всей научной строгостью), намеренно излагал его с помощью только простых и интуитивных аргументов. И если кто-нибудь пробовал оспаривать результат как нестрогий или искал более строгое решение, это доставляло ему большое удовольствие: он или вовсе молчал, улыбаясь, или с удовольствием лукаво произносил: «Несчастненькие!» Читателю может показаться, что это похоже на «демагогию». Конечно, дело не в демагогии: всем этим Ферми призывал к поискам самого дорогого для него — простого пути к истине.

514945000

Ученые из университета Чикаго, разрабатывающие проект американской атомной бомбы на ланче в Калифорнийском университете. Сидят: Уильям Захариасен, Гарольд Юри, Сирил Смит; Энрико Ферми и Сэмюэл Эллисон. Стоят: Эдвард Теллер, Дэвид Хогнесс, Уолтер Зинн, Кларенс Зенер, Джозеф Майер, Филип Шутц, Ричард Крист; Карл Экхарт

Мне хотелось бы здесь отметить также полное отсутствие у Ферми научного догматизма. Это редчайшее явление для таких одаренных физиков, каким был Ферми, с такой огромной эрудицией и удивительной способностью использовать «незыблемые» законы и основы науки. Кстати, мне кажется, что как раз одна из самых характерных черт Ферми — это его требование «золотой середины» или, если хотите, необходимости борьбы на два фронта в науке: крайне важны основные принципы, но вредна предвзятость; да здравствует новое, но пусть новое узаконивается только тогда, когда старое оказалось негодным; физика движется вперед благодаря открытиям, но не только благодаря открытиям; очень хорошо, если физику удается открыть новое явление или предсказать неожиданную закономерность, но физика не делается охотой за открытиями; оригинальность и научная фантазия хороши только в сочетании с глубоким знанием.

Ферми приехал в Италию в 1949 г. на Физический конгресс (первую значительную международную конференцию после войны), состоявшийся в Комо, городе Александра Вольты. В Комо можно было убедиться, с какой теплотой относились к нему не только зарубежные и итальянские физики, но и местные жители. В Италии он провел всю осень 1949 г. и прочел тогда те самые лекции, которые впоследствии были изданы в виде книги «Лекции по атомной физике». Уже один взгляд на оглавление этой полупопулярной книги дает представление о широте интересов Ферми в то время: от физики элементарных частиц до нейтронной оптики, от дираковского монополя до космологии, от квантовой электродинамики до ядерной археологии.

И другие лекции, связанные с его преподавательской деятельностью в Чикагском университете или с участием в летних школах, как правило, завершались изданием книги. К изданию книги «Лекции по пионам и нуклонам» привела и его последняя состоявшаяся за несколько месяцев до смерти поездка в Италию, где он читал свои великолепные лекции на эту тему в летней школе (теперь ежегодная школа по физике имени Энрико Ферми) в Варенне, на озере Комо.

По возвращении в Чикаго стало ясно, что он неизлечимо

болен. В воспоминаниях Янга содержится волнующий рассказ о прощании Янга и Гелл-Манна со своим учителем в больнице, где Ферми лежал, вполне сознавая безнадежность своего положения. Он был слишком рационалистичен, чтобы тешить себя иллюзиями, но работал до конца своей жизни с олимпийским спокойствием. Он скончался 28 ноября 1954 г.

Сегре[18] рассказывает, что в последние годы он заметил у Ферми ярко выраженное желание избегать даже малейшей потери времени, как будто он предчувствовал, что времени у него осталось слишком мало. Ферми действовал так, как будто судьба определила ему задание, поставила цель, которую он должен обязательно достичь. Когда в 1946 г. Ферми оценивал, что им уже было сделано и что остается сделать, он сказал Сегре: «Одна треть». И этим он хотел сказать, что он дал науке «только» 1/3 того, что он, глядя в будущее, собирался создать за время своей жизни.

Трудно представить, сколько успел бы Ферми еще сделать в науке, если бы он прожил еще 15–20 лет. Судя по тому, как фактически развивалась после смерти Ферми физика элементарных частиц и астрофизика, на которых были главным образом сфокусированы его интересы в последний период его жизни, позволительно считать, что он мог бы внести еще огромный вклад в науку. Я хотел бы проиллюстрировать эту точку зрения на примере.

После работы учеников Ферми, теперь лауреатов Нобелевской премии Ли и Янга о несохранении четности в слабых взаимодействиях (1956 г.) Ландау, Саламом и другими была сразу предложена теория так называемого продольного нейтрино. Вполне допустимо, что Ферми не осознал бы первым уникальные новые свойства нейтрино, но после опубликования теории продольного нейтрино он наверняка создал бы универсальную теорию слабых взаимодействий, которая была предложена в 1957 г. лауреатами Нобелевской премии Р. Фейнманом и одним из учеников Ферми М. Гелл-Манном. Ведь фермиевская теория бета-распада (1933 г.) содержала все предпосылки универсальной теории; к тому же никто лучше Ферми не мог разгадать ошибочность некоторых экспериментальных результатов, которые как раз препятствовали созданию этой теории, сегодня по праву называемой теорией универсального взаимодействия Ферми. Но Ферми не смог дожить до того времени, когда его теория фактически стала последним словом в науке о слабых взаимодействиях.

Ряд других работ Ферми приобрели особенную важность спустя несколько лет после его кончины. Среди них здесь

хотелось упомянуть первую работу о составных моделях элементарных частиц, которая дала начало новому направлению, вылившемуся 15 лет спустя в современную теорию о так называемых «кварках».

Досадно также, что Ферми, обнаруживший в 1953 г. первый случай так называемых адронных резонансов, не смог увидеть продолжающегося до сих пор триумфального развития этого направления и появления в таблицах элементарных частиц сотен резонансов.

Еще одним примером проявления научной проницательности Ферми является его работа по теории, которая сегодня известна под названием теории «горячей Вселенной». Если судить по живому интересу, с которым Ферми следил за этой теорией, то можно утверждать, что он быстро и творчески реагировал бы на астрофизическую сенсацию 1965 г.: сообщение о наблюдении Пенсиасом и Вильсоном изотропного космического электромагнитного излучения со спектром, соответствующим излучению черного тела при температуре около 3 °К (реликтовое излучение).

Для большинства образованных людей имя Ферми связано с созданием первого уранового реактора, что послужило решающим шагом в новый, атомный век.

Для профессиональных физиков имя Ферми связано с блестящими успехами современной физики, всей физики почти полувекового периода. И действительно, спустя 15 лет после кончины Ферми не найдешь ни одного выпуска физического журнала, будь это ЖЭТФ, «Ядерная физика», «Physical Review» или какой-либо другой журнал, в котором бы несколько раз не упоминалось его имя. Награждение Нобелевской премией считается признаком достижения вершин в науке. Невольно спрашиваешь: если бы исследования Ферми публиковались различными авторами, скольких Нобелевских премий они могли быть удостоены? Мне кажется, что не менее шести, а именно: за статистику, теорию бета-распада, исследования по свойствам нейтронов, совокупность теоретических работ о структуре атомов и молекул, создание первого атомного реактора, работы по физике высоких энергий.

Те, кому посчастливилось учиться у Ферми и работать под его руководством, будут всегда помнить о нем как о непогрешимом «папе» физиков, уникуме XX века.

Не удивительно, что советские ученые, как и ученые всего мира, так остро восприняли неожиданную кончину великого физика, находившегося еще в расцвете творческих сил.

И. Я. Померанчук и начало физики высоких энергий [19]

Впервые я встретился с Исааком Яковлевичем Померанчуком в конце 1950 г. Тогда я не знал ни одного слова по-русски, и мы говорили на английском языке. Английский язык Исаак Яковлевич знал достаточно хорошо, чтобы понимать в совершенстве любую статью в области физики и излагать, пусть с грамматическими ошибками, свои научные мысли. В это время раз в неделю он приезжал в Дубну и каждый раз выступал на семинаре. Тогда в Дубне работал самый мощный в мире ускоритель, ускоряющий протоны до энергии в несколько сот МэВ. И. Я. Померанчука приглашали для воспитания молодого поколения экспериментаторов, которые делали первые исследовательские шаги в области физики высоких энергий. С дубненскими теоретиками он также проводил несколько часов. Одним словом, он был официальным «просветителем» дубненского института.

Его выступления были всегда удачными и увлекательными. Он обладал даром быть понятым слушателями самой различной подготовки. Он мог рассказать экспериментаторам об интересной работе, которая только что была опубликована. В этом случае он всегда подчеркивал главные физические идеи, но мало останавливался на математических деталях и вообще на вопросах математического аппарата. Конечно, иной была ситуация, когда он выступал на теоретическом семинаре. Кстати, в оригинальных научных работах И. Я. Померанчука аппарат всегда был адекватным исследуемой задаче.

Если же в промежутке между двумя его поездками в Дубну появлялась яркая по своим результатам экспериментальная работа, то он консультировался с экспериментаторами, суждение которых высоко ценил, и, если, по мнению последних, работа была серьезной, обязательно комментировал ее. При этом он совершенно не касался экспериментальной части и обсуждал теоретические следствия экспериментальных результатов независимо от того, что было написано по этому поводу в оригинальной работе. Таким образом, его выступления приобретали оригинальный характер и были в высшей степени интересными.

Я очень признателен Исааку Яковлевичу за то, чему научился у него тогда, и уверен, что все без исключения физики, работавшие в то время в Дубне, ему очень обязаны.

Я хочу рассказать об одном эпизоде, который хорошо иллюстрирует его функцию «просветителя». Я расскажу довольно подробно, так как это даст мне возможность остановиться на некоторых вопросах физики элементарных частиц. Главные действующие лица в рассказе — это гипероны и каоны — частицы, которые сегодня называются странными частицами. Необходимо учесть, что слово «странность» — это сегодня технический термин, но когда-то давным-давно эти частицы назывались странными потому, что они имеют удивительные свойства. Чем они были удивительны? Они удивительны тем, что рождаются в столкновениях при высоких энергиях с очень большой вероятностью, а распадаются самопроизвольно с очень большим временем жизни (т. е. с малой вероятностью).

Этот кажущийся парадокс — большая вероятность рождения и большое время жизни — был замечен мною независимо от американских физиков Гелл-Манна и Пайса в 1951 г., и я очень кратко рассказал о моих суждениях Исааку Яковлевичу, когда он приехал в Дубну на семинар. Он сразу же выступил на семинаре и сказал, что ему понравились мои замечания и он хотел бы рассказать о них. Он говорил не менее часа, и при этом в его речи не было воды. Его выступление оказалось очень полезным для меня.

Парадокс снимается, если допустить, вопреки мнению, царившему в то время, что процессы рождения странных частиц отличаются по своей природе от процессов их распада. Как мы хорошо знаем сегодня, странные частицы рождаются в сильных взаимодействиях, а распадаются благодаря слабым взаимодействиям. Несколько слов об этих взаимодействиях. Физики давно знакомы с разными силами, но, может быть, не все из них задумывались над тем, что типов взаимодействий, глубоко различающихся по природе, очень мало. Если не считать тяготения, которое играет существенную роль только в присутствии огромных масс, то известны лишь три вида взаимодействий: сильные, электромагнитные и слабые.

Электромагнитные взаимодействия известны в физике давно. Благодаря им движущийся неравномерно электрический заряд испускает электромагнитные волны (например, видимый свет). С этим классом взаимодействия связаны все химические, атомарные и молекулярные явления. Электромагнитные взаимодействия, теория которых блестяще подтверждается опытом, глубоко связаны с электрическим зарядом элементарных частиц.

Теперь о сильных взаимодействиях. Они стали известны только после раскрытия внутренней структуры атомного ядра. В

1932 г. было найдено, что атомное ядро состоит из нуклонов (нейтронов и протонов). И именно сильные взаимодействия соединяют нуклоны в ядре, т. е. отвечают за ядерные силы, которые в отличие от электромагнитных характеризуются очень малым радиусом действия (около $10-13$ см) и большой интенсивностью.

Кроме того, сильным взаимодействием обусловлены столкновения частиц высоких энергий, в частности столкновение, в котором рождаются каоны и гипероны, т. е. странные частицы. Поэтому странные частицы и рождаются с большой вероятностью.

Интенсивность взаимодействий удобно оценивать по так называемой длине свободного пробега частиц в некотором веществе, т. е. по средней величине пути, который частица может пройти в этом веществе до разрушающего или отклоняющего столкновения. Ясно, что чем больше длина свободного пробега, тем менее интенсивно взаимодействие.

Если рассматривать частицы очень высокой энергии, то соударения, обусловленные сильными взаимодействиями, характеризуются длиной свободного пробега частиц, равной по порядку величины десяткам сантиметров в меди или железе.

Иначе обстоит дело при слабых взаимодействиях. Нейтрино, например, испытывающее только слабые взаимодействия, обладает колоссальной проникающей способностью. Длина его свободного пробега в плотном веществе, скажем, в железе, измеряется в астрономических единицах, например толщиной чугунной плиты, в 109 раз превышающей расстояние от Земли до Солнца.

Визит посла Италии Джованни Мильуоло, 1983 г. Слева направо: Д. Лавренчич Каннама, Б. Понтекорво, Д. Мильуоло с

женой

Мне остается привести некоторые примеры процессов, обусловленных слабыми взаимодействиями. Это, конечно, редчайшие соударения нейтрино с нуклонами при его прохождении через вещество. Зарегистрировать такие события необычайно трудно, но возможно. Но имеется ряд «слабых» процессов, более доступных исследованию. Речь идет о многочисленных самопроизвольных превращениях элементарных частиц, например о бета-распаде ядер. Оказывается, что такие превращения обусловлены слабыми взаимодействиями. Самопроизвольные распады странных частиц маловероятны, как я уже сказал, как раз потому, что они обусловлены слабым взаимодействием.

Все, что я вам сказал, сегодня представляет тривиальную истину. Но утверждение о существовании четырех типов взаимодействия было четко сформулировано только в 1953 г. благодаря работам советских и зарубежных ученых, и особенно американского физика Гелл-Манна.

Еще один пример просветительской деятельности Исаака Яковлевича Померанчука в Дубне. В начале пятидесятых годов появилась очень интересная работа польского физика Даныша о наблюдении гиперядер. Что такое гиперядро? Как вы знаете, атомное ядро состоит из нуклонов — нейтронов и протонов. Например, Li63 состоит из трех протонов и трех нейтронов. Гиперядро — это квазиядро и состоит из нуклонов и одной странной частицы — лямбда-частицы. Например, ΛLi63 Li состоит из трех протонов, двух нейтронов и одной лямбда-частицы.

Во время поездки в Дубну Исаак Яковлевич узнал о наблюдении Даныша и сразу рассказал об этом на семинаре. Учтите, что в работе Даныша была дана правильная интерпретация наблюдения, т. е. была сформулирована гипотеза о существовании гиперядра как системы из нуклонов и одной лямбда-частицы, но практически не обсуждались проблемы физики гиперядер. Померанчук тут же указал на особенность гиперядер. Принцип Паули, который так важен для систем, содержащих ряд одинаковых нуклонов, не играет роли для лямбда-частиц в гиперядре, так как таких частиц только одна. Померанчук исходил из наблюдения Даныша и прочел в течение часа прекрасную лекцию о том, чем гиперядра отличаются от обычных ядер, о том, какие сведения будут получены с помощью исследования гиперядер, о разных каналах их распадов, о силах между гиперонами и нуклонами и вообще сформулировал программу теоретических и экспериментальных исследований

гиперядер, которая и сегодня звучала бы очень актуально. Очень жаль, что нет магнитофонной записи этого доклада. Теперь физика гиперядер — важный раздел физики элементарных частиц. Она развивается именно по пути, указанному Исааком Яковлевичем Померанчуком в этом неопубликованном докладе. Кстати, интересно, что Даныш не так давно уже нашел случай с гиперядром, в котором находится уже не одна, а две лямбда-частицы.

Человеческие качества Исаака Яковлевича проявились отчетливо в его научных выступлениях. Он был энтузиастом и как ученый, и как воспитатель, был нетерпим к халтуре в науке и к непринципиальности вообще. Он был смелым человеком, бесконечно преданным науке, обладал тонким юмором и умел заражать других своей бодростью.

Физика элементарных частиц — дорогая вещь! Нужна ли она?

Некоторое время тому назад меня просили прочесть лекцию по вопросу о возможности практического применения физики высоких энергий. Конечно, у меня не было конкретных идей по этому поводу, и лекцию я не прочитал. Но сейчас речь идет не о конкретных идеях, скажем, по практическому применению в народном хозяйстве гиперядер и т. д.

Первое замечание, которое я хотел бы сделать, состоит в следующем: малоправдоподобно, что путь, приводящий к практическим применениям физики элементарных частиц и высоких энергий (а я думаю, что такие применения будут), можно предсказать на основании наших сегодняшних знаний. Дело в том, что главное в физике элементарных частиц — ее фундаментальность: здесь не может не быть неожиданных открытий. Поэтому вопрос о практическом применении в народном хозяйстве результатов исследований, скажем, на данном ускорителе высокой энергии — почти незаконный вопрос. Можно сказать, что если бы мы знали что-нибудь определенное по этому поводу, мы знали бы ответы на научные вопросы, которые мы задаем, и тогда незачем проводить исследования, создавать ускорители и т. д.

Кроме того, передовой характер физики элементарных частиц выражается не только в том, что мы не знаем ответа на заданные вопросы (скажем, какой спин у Ω-частицы и т. д.), но также и особенно в том, что мы часто задаем несущественные вопросы. А самые существенные вопросы редко задаются в области фундаментальной физики. Успехи физики высоких энергий зависят от того, насколько часто задаются существенные, решающие вопросы. Таким был вопрос Ли и Янга: сохраняется ли четность в слабых взаимодействиях? Но этот вопрос мог возникнуть только после упорной и кропотливой экспериментальной работы, проведенной во многих лабораториях по свойствам К-мезонов. А эта работа была поставлена без понимания того, что из этого получатся грандиозные последствия.

Итак, физика элементарных частиц и высоких энергий нам нужна, во-первых, потому, что она действительно фундаментальна и долг науки, особенно материалистической науки, исследовать и познавать самые неизвестные и одновременно «простые» области природы. Дело не только в том,

что речь идет о крайне интересной проблеме. Дело не только в том, что человеческая любознательность безгранична, и вопрос о спине Ω-частицы — не менее законный, чем вопрос о расшифровке языка майя или о том, действительно ли был отравлен Наполеон, или о природе «сверхзвезд» (для выяснения последнего вопроса, между прочим, требуются огромные средства).

Интерес физики элементарных частиц особый. Она имеет дело со структурой материи, и в этом смысле она продолжает традицию самой передовой физики в прошлом. Физика элементарных частиц поэтому ищет такие знания, без которых нельзя и думать о дальнейшем взаимодействии человека с природой. При этом исследуется не только структура материи, но и структура пространства и времени.

И все-таки, что можно сказать о возможности практического применения физики элементарных частиц? Я постараюсь ответить на это, но не сейчас.

Во-вторых, физика элементарных частиц нужна потому, что она недалека от других разделов физики и от других наук (таких как биология, медицина, геология, астрономия, астрофизика, физика твердого тела, химия). Несмотря на некоторые скептические утверждения, открытия в области физики элементарных частиц обязаны влиять на другие науки. Это видно уже сейчас, особенно для физики космоса (включая физику космических лучей). В этой области науки появилось уже много работ, в которых подчеркивается важность не только протонов, нейтронов и электронов («старых» элементарных частиц), но и нейтрино, мезонов и гиперонов. А это только начало.

Я сказал бы, что самая характерная особенность прогресса науки в настоящее время состоит в следующем: наряду с увеличением специализации ученых, требуемой экспоненциальным ростом количества научных сведений, замечается невиданное расширение фронта исследований и, если хотите, увеличение числа «гибридных наук» (биофизика, биохимия, ядерная астрофизика, радиационная химия, космическая медицина, мюонная химия, ядерная археология и т. д.). Полное исчезновение с научной арены универсального ученого ренессансного типа — неизбежный закон. Сужение интересов большинства ученых, в том числе и выдающихся, работающих в данном разделе науки, однако, является правилом, имеющим свои исключения. Для того чтобы наука стремительно шла вперед и процесс возникновения «гибридных наук» продолжался быстрыми темпами, необходимо, чтобы хотя бы небольшое число ученых, быть может, даже в ущерб углублению,

расширяли свои интересы, умея найти связи между разными науками. С этой точки зрения значительную роль призваны играть неспециализированные научные журналы такого типа, как «Сайентифик Американ» и «Природа».

Несколько лет тому назад Л. А. Арцимович в докладе на заседании Академии наук разделил исследования по физике на два класса. Недавно Вайскопф сделал то же самое и назвал эти области столь экзотично, что я не могу перевести этого на русский язык. Буду называть их так: исследования класса А и исследования класса Б. Наука класса А описывает природу в терминах новых законов, найти которые — ее цель. Наука класса Б в терминах известных законов объясняет разные факты и процессы и ищет новые.

Это не является общепринятым разделением науки на «чистую» и «прикладную». Дело в том, что любая область науки в данный момент времени имеет два аспекта: аспект А и аспект Б. В физике элементарных частиц, например, главную роль сегодня играет аспект А, а в физике твердого тела и физике плазмы — аспект Б. Есть такое правило: сегодня исследования типа Б проводятся на базе исследований типа А предыдущего периода.

Итак, совсем неразумно было бы ожидать большого удельного веса аспекта Б в физике элементарных частиц сегодня. Но элементы аспекта Б уже видны сейчас (например, влияние на астрофизику и т. д.) в физике элементарных частиц, а это означает, что мы имеем право ожидать расширения этого аспекта.

История физики показывает, что, когда в науке делается существенное, фундаментальное открытие, почти всегда следует усиление исследований типа Б и влияния на другие области наук. А когда одна область физики влияет на другие области, неизбежны практические применения. Число примеров тому очень велико.

Итак, мы подходим к еще одной важной причине, почему нужна физика элементарных частиц. Она нужна, в-третьих, потому, что с большой вероятностью она принесет практическую пользу: повторяю, уже сейчас видна связь физики элементарных частиц с другими науками, а это предвещает появление практического применения. Вспомните о влиянии на практическую химию, которое последовало за связью между ядерной физикой и теоретической химией, открытой Резерфордом. Как заметил Вик, химия — «дело» совсем малоэнергетичное, а когда Резерфорд открыл атомное ядро, исследуя рассеяния альфа-частиц с энергией в несколько МэВ, он, конечно, занимался физикой «высоких энергий».

Хочу напомнить еще об одном из самых первых практических

применений физики нейтронов (которая, между прочим, когда-то была частью физики элементарных частиц!), сделанном до появления атомных реакторов и современной атомной техники. В начале нашего века установилась некоторая связь между геологией и ядерной физикой, которая состояла, в частности, в том, что распределение урана и тория в различных породах представляло интерес с точки зрения теоретической геологии и геофизики. Из этого возник уже совсем практический метод гамма-каротажа в нефтяной промышленности, а через девять лет после открытия нейтрона возник метод нейтронного каротажа, который очень распространен в нефтяных полях всего мира и имеет большое экономическое значение.

Правда, с момента создания первых ускорителей высоких энергий уже прошло пятнадцать лет, а практические применения большого масштаба еще не появились. Но не надо забывать, что иногда проходят очень длительные периоды времени от момента, когда физические законы осмыслены, до их практического применения (например, коэффициенты Эйнштейна (1917 г.) и квантовые генераторы (1954 г.)). Поэтому нельзя требовать, чтобы практический выход от физики элементарных частиц был уже сегодня.

Но все-таки, какие практические применения современной физики элементарных частиц и высоких энергий могут быть, кроме, скажем, химии (уже известно, что исследование при помощи мю-мезонов поможет получить сведения о скорости химических реакций), медицины (облучение пионами) и т. д.? Конечно, в духе настоящей статьи ответить на это конкретно нельзя. Но я могу привести примеры того, как это могло бы получиться. Примеры эти взяты из реального развития физики элементарных частиц последнего времени. Правда, они несколько напоминают, как вы увидите, итальянскую пословицу: «Если бы у бабушки были колеса, она была бы каретой».

Возьмем катализ ядерных реакций мюонами. Известно сейчас, что он не дает и не может дать практического применения. Однако *если бы* природа была немного другой, он мог бы дать практическое применение. Другой пример: возьмем явление безрадиационного деления тяжелых ядер мюоном, при котором переход 2p-1s мезоатома осуществляется не путем испускания фотона, а путем возбуждения тяжелого ядра с соответствующим делением. В этом процессе мюон остается «живым» (но оказывается также, что практического применения этого нет). И здесь также, будь немножко другая природа, применение могло бы быть.

Стоит ли напоминать, что на заре своего развития физика

элементарных частиц, установив с теоретической точки зрения, казалось бы, второстепенный факт, что при делении урана испускается более двух нейтронов, породила современную ядерную энергетику?

В настоящее время проблема кварков, поскольку она может быть связанной с возможностью существования стабильного вещества с совершенно необычными свойствами, привлекательна не только с теоретической точки зрения.

Главное — то, что практика, по-видимому, возникает совсем неожиданным образом из познания новых физических законов.

Б. Понтекорво, Самоил Биленький (справа) в рабочем кабинете. Дубна, 1983 г.

Я не абсолютно уверен, что «загадка солнечных нейтрино» реально существует

Корреспондент. Бруно Максимович, в свое время вы предложили использовать радиохимические методы для регистрации нейтрино. Как вы пришли к этой идее?

Б. М. Понтекорво. Меня интересовала сама проблема регистрации нейтрино. В сороковые годы с сомнением относились к мысли, что можно зарегистрировать свободные нейтрино.

Так думали просто потому, что вероятность столкновения нейтрино с ядрами вещества до смешного мала. Ведь ожидаемая длина свободного пробега нейтрино с энергией в несколько мегаэлектронвольт в конденсированном веществе имеет астрономические масштабы: в воде она в миллиард раз превышает расстояние от Земли до Солнца.

Сцинтилляционные счетчики, столь успешно использованные в пятидесятые годы Ф. Райнесом и К. Коуэном для регистрации свободных антинейтрино от реактора, тогда еще не были изобретены. Мне показалось, что для этого наиболее пригодны методы радиохимии, позволяющие отделить считанные атомы радиоактивного элемента от громадной массы всего вещества, облучавшегося нейтрино. И в 1946 г. я предложил радиохимические методы для детектирования свободных нейтрино, в частности хлор-аргоновый метод. Радиохимические методы вполне подходят для регистрации нейтрино с энергией приблизительно 0,5-15 МэВ.

Корреспондент. Как известно, до сих пор именно хлор-аргоновый метод применялся при поиске солнечных нейтрино. В чем его преимущества?

Б. М. Понтекорво. Хлор-аргоновый метод, обоснованию которого я посвятил ряд экспериментальных и теоретических работ, основан на реакции $^{37}Cl + \nu e \rightarrow {}^{37}Ar + e^-$. Чем хороша эта реакция? Во-первых, можно использовать перхлорэтилен — сравнительно дешевую, не ядовитую, не огнеопасную жидкость, содержащую хлор. Ее можно применять в качестве гигантской мишени. Во-вторых, аргон — благородный элемент, и процедура извлечения нескольких атомов ^{37}Ar из огромного количества C_2Cl_4 относительно проста. Однако я хотел бы подчеркнуть, что, несмотря на эту «простоту», опыт Дэвиса потребовал героических

усилий автора. И, наконец, существенно то, что радиоактивный 37Ar живет достаточно долго — около 35 дней. Его распад — это следствие захвата ядром электрона с K-оболочки, в которой в результате образуется «дырка». Когда электроны с других оболочек займут эту «дырку», избыточная энергия выделится в виде рентгеновского излучения и (или) пойдет на отрыв одного из электронов внешних оболочек (так называемый эффект Оже). В любом случае суммарная выделившаяся энергия имеет вполне определенное значение — 2,8 кэВ. Я не сразу осознал принципиальную важность этого обстоятельства и вначале предполагал использовать счетчик Гейгера в качестве детектора извлеченного из мишени радиоактивного аргона. Однако вскоре мы с Дж. Ханной обнаружили, что небольшое количество ионов (порядка 100), образующихся в счетчике при освобождении энергии 2,8 кэВ, позволяет применить пропорциональные счетчики с большим коэффициентом газового усиления. (Ранее считалось, что при больших коэффициентах усиления пропорциональные счетчики работать не могут.)

Так я пришел к выводу о необходимости использования пропорциональных счетчиков в хлор-аргоновом методе. В пропорциональном счетчике, в отличие от гейгеровского, распад 37Ar оставляет красивый и довольно отчетливый «автограф», и это позволяет значительно снизить фон. Уменьшение достигается не только возможностью измерения в пропорциональном счетчике амплитуды импульсов, но и их формы. Второе обстоятельство стало мне ясно только в 1968 г., и я сообщил о нем Дэвису на нейтринной конференции в Москве.

Корреспондент. Какие нейтрино вы предполагали изучать с помощью радиохимических методов?

Б. М. Понтекорво. Об источниках нейтрино я скажу два слова. В 1946 г. я обсуждал три возможных источника: Солнце, работающий ядерный реактор и продукты деления «горячего» урана, извлеченные из реактора. Я отмечал тогда, что поток нейтрино от Солнца на поверхности Земли достаточно велик, порядка $1010\ см - 2 \cdot с - 1$, но что энергия нейтрино маловата для регистрации хлор-аргоновым методом. Однако это не означает, что я не возвращался позже к проблеме нейтрино от Солнца: она до сих пор меня очень интересует.

Корреспондент. Что вы думаете о «загадке солнечных нейтрино»?

Б. М. Понтекорво. Под «загадкой» понимается обстоятельство, что поток солнечных нейтрино, зарегистрированный Дэвисом и его сотрудниками, значительно меньше, чем теоретически

ожидаемая величина. Напоминаю, что полученное в экспериментах значение потока солнечных нейтрино, как и все величины, измеряемые в физике, имеет некоторую неопределенность. Кроме того, и ожидаемая величина потока, рассчитанная в работах Дж. Бакала, также имеет неопределенность, которую совсем не просто оценить.

Дело в том, что с помощью реакции превращения хлора в аргон можно зарегистрировать лишь относительно малоинтенсивную часть спектра солнечных нейтрино (в основном нейтрино с достаточно большой энергией, испускаемые, согласно оригинальной работе В. Фаулера, ядрами 8B). Поток нейтрино от 8B в значительной степени определяется температурой в центре Солнца и другими его параметрами. Я бы сказал, что теоретический результат сильно зависит от принимаемой модели Солнца. Кроме того, в погрешность расчетов вносят свой вклад вероятности ядерных столкновений, значения которых до сих пор не очень хорошо известны.

Расчетная величина потока солнечных нейтрино с 1964 г. уменьшилась в пять раз, хотя в последние несколько лет она более или менее стабилизировалась. Быть может, я слишком осторожен, но я не абсолютно уверен, что «загадка солнечных нейтрино» реально существует.

В настоящее время в СССР и США готовятся эксперименты с использованием другого радиохимического метода, который был впервые упомянут В.А.Кузьминым. Я имею в виду так называемый галлий-германиевый метод, основанный на реакции превращения ^{71}Ga в ^{71}Ge. Эту реакцию способны вызвать и те солнечные нейтрино, которые «ускользают» от регистрации хлор-аргоновым методом. В первую очередь здесь важны нейтрино низких энергий от интенсивной части нейтринного спектра Солнца. Такие нейтрино испускаются в реакции $pp \rightarrow de + \nu e$; эта часть спектра прекрасно рассчитывается и почти не зависит от модельных предположений. Предстоящие опыты помогут выяснить, действительно ли существует «загадка солнечных нейтрино».

Корреспондент. Представим себе, что «загадка» все же существует, т. е. будущие эксперименты также покажут, что число детектируемых нейтрино меньше ожидаемого. Как ее можно объяснить?

Б. М. Понтекорво. Об одном объяснении «загадки», если она все-таки остается, я уже фактически говорил — принимаемая в качестве «стандартной» модель Солнца может быть не совсем верной.

Другое возможное объяснение относится к самой природе

нейтрино. Речь идет о конечной массе нейтрино и явлении нейтринных осцилляций. Если имеют место осцилляции, лишь некоторая часть нейтрино, дошедших от Солнца до Земли, может быть зарегистрирована; остальные нейтрино в этом смысле как бы «стерильны». Это и дает уменьшенную величину измеряемого потока солнечных нейтрино.

Я предсказывал и обсуждал явление осцилляций нейтрино еще до того, как появились сообщения Дэвиса о «загадке». Они были придуманы как очень чувствительный метод проверки закона сохранения лептонного заряда. Конечно, я был бы очень рад, если бы опыты с хлор-аргоновым методом определенно указали на существование «загадки» и, возможно, на наличие осцилляций нейтрино. К сожалению, как я уже говорил, это может быть и не так.

Не исключено, что именно опыты с галлий-германиевым детектором ответят на вопрос о существовании осцилляций. Эксперименты с солнечным нейтрино — самый чувствительный метод поиска осцилляций. Эта проблема очень актуальна. Она не менее важна, чем решенная Дэвисом задача регистрации нейтрино от Солнца.

Корреспондент. С момента появления на свет «загадки солнечных нейтрино» высказывались многочисленные гипотезы о ее происхождении. Чем выделена гипотеза осцилляций?

Б. М. Понтекорво. Действительно, выдвигались довольно экзотические предположения. Думали, что нейтрино могут распадаться по пути от Солнца к Земле. Предполагалось, что энергия Солнца не термоядерного происхождения. Считали, что внутри Солнца может находиться черная дыра. Высказывалось предположение, что в прошлом Солнце приобрело извне значительную часть своей массы, так что его внутренние и внешние части имеют совершенно разный состав, что делает все вычисления абсолютно неправильными…

Объяснение «загадки солнечного нейтрино» с помощью осцилляций выделяется своей неэкзотичностью. Оно привлекательно с точки зрения физики элементарных частиц и не придумано ad hoc, специально для объяснения результатов Дэвиса. Гипотеза осцилляций, в принципе, допускает проверку, независимую от опытов с солнечными нейтрино, например в экспериментах на реакторах, мезонных фабриках и ускорителях. Правда, опыты с солнечными нейтрино несравненно более чувствительны к осцилляциям, чем другие эксперименты.

Корреспондент. Что вы думаете о вариациях потока солнечных нейтрино?

Б. М. Понтекорво. Под вариациями нейтринной

интенсивности в последнее время понимается якобы существующая зависимость от времени потока нейтрино от Солнца, зарегистрированного Дэвисом. Вполне возможно, что вариации имеют место, но, по моему мнению, опубликованные до сих пор результаты пока не указывают на существование таких вариаций. Вопрос о вариациях нейтринного потока можно будет решить на Баксанской нейтринной обсерватории, когда там заработает хлор-аргоновая установка, по объему в пять раз превышающая установку Дэвиса.

Корреспондент. Каково ваше мнение о наличии массы у нейтрино?

Б. М. Понтекорво. Отличная от нуля масса нейтрино, полученная в экспериментах сотрудников Института экспериментальной и теоретической физики, — результат, который не всеми рассматривается как окончательный. В 1983 г. эта группа, руководимая В.А.Любимовым, добилась существенных методических достижений в постановке эксперимента. Можно надеяться, что окончательный результат не слишком далек. Опыт весьма остроумен, но очень сложен. Аналогичные поиски массы нейтрино предпринимаются в различных лабораториях мира: в СССР, Франции, США, в Европейской организации ядерных исследований и др.

Я бы сказал, что нулевая масса нейтрино выглядит очень красиво. Но не менее красиво было бы, если бы она оказалась отличной от нуля. Дело в том, что не известен принцип, заставляющий массу нейтрино равняться нулю. Для фотона, например, такой принцип есть. Пусть опыт решит этот важнейший вопрос. Кстати, напоминаю, что осцилляции возможны только при конечных и разных массах нейтрино.

Корреспондент. И в заключение, как вы оцениваете значение опытов Дэвиса?

Б. М. Понтекорво. Я хотел бы подчеркнуть, что Р. Дэвис, зарегистрировав солнечные нейтрино, сделал большое астрономическое открытие и экспериментально доказал, что энергия звезд действительно имеет термоядерное происхождение. Однако проблема солнечных нейтрино не закрыта, и дальнейшие эксперименты могут сыграть важную роль в развитии наших представлений как о Солнце, так и о свойствах самих нейтрино.

Загадочные нейтрино

Однажды, лет двадцать тому назад, я гулял у моря по бескрайним и почти пустынным нефтяным полям. Ехавший мне навстречу грузовик резко остановился в облаке пыли, и шофер спросил меня: «Не видели ли вы нейтрона?» Он искал грузовик с аппаратурой, предназначенной для «нейтронного каротажа» — метода геофизической разведки нефти, использующего источник нейтронов.

В то время еще не было ни атомных электростанций, ни атомных ледоколов, ни атомных реакторов, еще не начинались исследования по использованию термоядерных реакций, не было, слава богу, ни атомных, ни водородных бомб. Одним словом, это было до начала так называемой «атомной эры». И мне было крайне удивительно и приятно, что в жизнь простых людей, по крайней мере в нефтяных областях, вошел нейтрон — частица, дорогая мне, которую в душе я связывал с весьма интересными, но, казалось бы, далекими от жизни исследованиями великого итальянского физика Энрико Ферми и его сотрудников.

Между прочим, некоторое время спустя я рассказал Ферми об эпизоде с «нейтронным грузовиком». Он увлекся этим и заметил, что нейтроны и другие элементарные частицы скоро станут популярными всюду. Как известно, драма нашей эры состоит в правильности этого предсказания. Сейчас не только профессора, физики и нефтяники, но и литераторы, художники и рабочие по крайней мере слышали о нейтронах и, может быть, знают, что они главные действующие лица в атомных реакторах и в атомных бомбах. Все знают, что нейтроны и другие элементарные частицы — фотоны, электроны — несут опасность, если человеческое тело подвергается большим дозам облучения этими частицами. Известный кинофильм «Девять дней одного года» увлекает многих наших зрителей несмотря на то, что в нем говорят о нейтронах, о реакторах и о любви к исследованиям термоядерных реакций таким же обычным тоном, каким в других кинофильмах — об автомобилях, лошадях и ревности. Действительно, мир элементарных частиц (так называют микрообъекты, структура которых еще неизвестна) уже не темный лес для «нормальных» людей.

Слева направо: Ж. Лаберриг-Фролова, Т.Д. Блохинцева, Л.Л. Неменов, Б. Понтекорво. Дубна, 1964 г.

Эта популярность микромира еще не распространилась на все элементарные частицы. Одна из них — нейтрино (по-итальянски нейтрино значит «нейтральненький») — довольно мало известна. Когда меня попросили выступить с рассказом о нейтринной астрономии, в телеграмме, которую я получил от редакции, речь шла о нейтронной астрономии. Я вспомнил об этом не для того, чтобы оправдываться опечаткой за то, что до сих пор говорю только о нейтронах. Эта опечатка телеграфиста явно обусловлена популярностью нейтрона и неизвестностью нейтрино.

Бедное нейтрино! Но не всегда это будет так: я уверен, что в недалеком будущем оно обретет должную славу, даже оно войдет в жизнь людей, но не так драматично, как вошел в нашу жизнь нейтрон. Дело в том, что нейтрино играют огромную роль для понимания некоторых фундаментальных законов взаимодействия и взаимного превращения элементарных частиц друг в друга. Нейтрино участвуют в тонких, сложных, но удивительно привлекательных процессах, с выяснением которых, безусловно, будет связана ломка наших физических представлений. Немалую роль играют нейтрино и в астрофизике. Конечно, отсутствие практических применений некоторых видов элементарных частиц (нейтрино, мезоны, гипероны) не уменьшает важности исследований их свойств. Здесь особенно неуместен узкий эмпиризм (вроде: «А что нейтрино дает рязанским

колхозникам?»). Вот как президент Академии наук СССР академик М. В. Келдыш охарактеризовал значение исследований в области элементарных частиц: «Наиболее далеко идущие перспективы в области открытия новых источников энергии принесло изучение структуры атомного ядра, природы элементарных частиц и их взаимодействия. На этом пути открыт ряд важнейших свойств материи, знание которых все шире используется в самых различных областях техники и науки. Теоретические и экспериментальные исследования в области ядерной физики и физики элементарных частиц должны являться одним из центральных направлений науки».

Поэтому в Советском Союзе огромное внимание уделяется этой области физики, которая наиболее детально и глубоко выясняет природу материи. У нас создаются колоссальные ускорители заряженных частиц, ведутся теоретические и экспериментальные исследования, изучаются космические лучи.

Из всего сказанного ясно, что в микромире должно быть много неожиданностей. Но, без сомнения, удивительнейшая из всех элементарных частиц — это нейтрино. Самое характерное свойство нейтрино — его потрясающая проникающая способность. Это напоминает мне анекдот о человеке, который, глядя на жирафа в зоопарке, бормочет: «Не может быть». Пусть читатель судит сам: нейтрино могут беспрепятственно проникать, скажем, через чугунную плиту, толщина которой в миллиард раз превышает расстояние от Земли до Солнца. Здесь даже у самого спокойного читателя должны возникать скептические вопросы: а как можно поймать эту неуловимую частицу? А как вообще можно утверждать, что она существует?

Я боюсь, что скептицизм читателя намного увеличится, если скажу, что нейтрино было открыто «теоретически» около тридцати лет назад швейцарским физиком Паули. Поэтому я хочу сразу успокоить читателей: недавно экспериментаторы поймали нейтрино. Но зачем нужно было его «придумывать»? Как часто бывает в науке, новые идеи выдвигаются тогда, когда в рамках существующего знания возникает парадокс. «Изобретение» нейтрино вызвано кажущимся парадоксом, обнаруженным при экспериментальном исследовании самопроизвольного испускания электронов атомными ядрами (так называемого процесса бета-распада). Оказалось, что измеренные энергии вылетающих электронов в этом процессе не строго определенные, а самые разнообразные. В большинстве случаев энергии явно не хватало. Создавалось впечатление, что она куда-то исчезает, как будто закон сохранения энергии не был верен. Трудности были настолько серьезными, что знаменитые физики предлагали даже

отказаться от закона сохранения энергии! Кажущееся несохранение энергии, однако, имело довольно странный характер. Действительно, если энергия не сохраняется в процессе бета-распада, следовало бы ожидать, что в одних случаях энергия испускаемых электронов будет слишком мала, а в других — слишком велика. Однако оказалось, что «выигрыша» энергии не бывает. Таким образом, факты, которым в науке всегда принадлежит последнее слово, а не естественное стремление сохранить незыблемыми законы, заставили высоко держать знамя сохранения энергии. Но как объяснить результаты наблюдений? «Изобретатель» нейтрино рассуждал так: кажущееся исчезновение энергии обусловлено тем, что процесс бета-распада просто-напросто неправильно описан. В распаде должна участвовать не наблюдаемая в опыте нейтральная частица, уносящая «исчезнувшую» энергию. И хотя в каждом процессе выделяется точно определенная суммарная энергия всех частиц, она распределяется между продуктами распада так, что в разных случаях электрон получает разные ее порции.

Итак, нейтрино — это частица, которая при бета-распаде уносит часть энергии. Так предполагали физики-теоретики, которые с самого начала «изобрели» ее как неуловимую частицу. И сразу же были предсказаны ее свойства: она должна быть электрически нейтральной и чрезвычайно малой по массе (иначе бы ее легко наблюдали). Последнее свойство, согласно теории относительности, приводит к тому, что нейтрино (если у него нет «массы покоя») не может находиться в состоянии покоя: оно всегда движется со скоростью света. Кроме того, неотъемлемым свойством нейтрино должно быть вращение.

Как выяснилось после открытия других элементарных частиц, особенно мезонов, нейтрино принимает участие и в других процессах, помимо бета-распада ядер. Его присутствие обнаруживается всегда, когда энергия как будто исчезает. Кстати, в этих процессах характер «несохранения» энергии более чем подозрителен и требует существования нейтрино даже более ясно, чем в случае бета-распада. Так, например, в одном виде процессов распада мезонов всегда исчезает определенная энергия. Если бы эти процессы были известны раньше, чем бета-распад, не было бы необходимости в гении Паули для «изобретения» нейтрино — этого непойманного вора энергии.

Я надеюсь, что сказанного достаточно для того, чтобы убедить читателя в теоретической обоснованности существования нейтрино. Но нельзя забывать, что, несмотря на свою неуловимость, нейтрино вполне материально и в принципе доступно регистрации, что его «ненаблюдаемость» вызвана лишь

трудностями экспериментальной техники. Поэтому физики, равно как и читатели этой статьи, вправе требовать «железной» проверки гипотезы нейтрино. Поймать «неуловимое», зафиксировать в физическом приборе эффект, вызванный нейтрино вдали от источника его возникновения, — вот что было необходимо для того, чтобы снять мистический ореол с этой таинственной частицы.

Как мы видели, для того чтобы нейтрино прореагировало с веществом, оно должно быть пропущено сквозь астрономическую толщу вещества. Но чтобы поймать его в условиях эксперимента, можно пропускать «астрономическое» число нейтрино сквозь далекую от фантастической, скажем, метровую, толщину жидкого или твердого вещества.

На помощь пришло открытие и техническое освоение атомной энергии. Известно, какое огромное значение в науке и технике имеют ядерные реакторы — устройства, где в большом масштабе совершается деление ядер урана нейтронами. В каждом акте деления образуется несколько бета-радиоактивных ядер. Поэтому мощный урановый реактор как раз и есть нужный нам весьма интенсивный источник нейтрино. Рассмотрим, например, атомный реактор мощностью в несколько сотен тысяч киловатт. Полный поток энергии нейтрино, испускаемых этим реактором, по расчетам составит десятки тысяч киловатт. Очень много! И все же уловить «проскальзывающие» частицы крайне трудно. Сквозь защиту этого реактора, поглощающую все другие частицы, будет проникать десять тысяч миллиардов нейтрино в секунду через каждый квадратный сантиметр. Но как зафиксировать действие нейтрино? Здесь помогает теория. Она предсказывает, что должны иметь место процессы, в которых нейтрино поглощается протоном, превращающимся в нейтрон с испусканием электрона. Такие процессы, как бы обратные бета-процессам, и были обнаружены в блестящем и трудном опыте американскими физиками Райнесом и Коуэном. Можно рассчитывать, что нейтрино от нашего реактора, бомбардирующие тонну вещества, содержащего водород (иначе говоря, запас протонов), должны вызывать ежечасно около ста превращений протона в нейтрон. Эти превращения можно обнаруживать при помощи хорошо известных экспериментальных методов ядерной физики, способных регистрировать прохождение заряженных частиц. И это предвидение сбылось. «Неуловимая» уникальная частица была наконец поймана. Она занимает сейчас прочное место в семье фундаментальных «кирпичиков» материи.

Фантастическая проникающая способность нейтрино является отражением его чрезвычайно слабого взаимодействия с

другими частицами. Между прочим, такое же взаимодействие испытывают и все другие элементарные частицы. Однако они наряду со слабыми испытывают и иные, несравнимо более сильные взаимодействия. Поэтому-то проникающая способность измеряется только, скажем, десятками сантиметров чугуна. А нейтрино уникально тем, что оно подвержено только слабым взаимодействиям, являясь, так сказать, их чистейшим представителем.

Урановые реакторы помогли выяснить еще одну важную характеристику нейтрино. Известно, что в природе имеется очень красивая симметрия, которая в последние несколько лет была окончательно подтверждена рядом фундаментальных опытов. Симметрия эта состоит в том, что каждой частице соответствует двойник — античастица, имеющая точно ту же массу, а все «заряды» — противоположного знака. Под «зарядом» здесь понимается любая внутренняя характеристика частицы, которой приписывается знак: или положительный, или нейтральный, или отрицательный. Неотъемлемыми свойствами любого вида заряда (не обязательно электрического) являются неуничтожаемость и дискретность, то есть способность принимать только вполне определенные значения.

Ясно, что электрически заряженная частица, скажем, отрицательный электрон, будет отличаться от своей античастицы — положительного электрона. Но и электрически нейтральная частица может отличаться от своей античастицы. Конечно, если все заряды данной частицы равны нулю, то частица тождественна со своей античастицей. Она истинно нейтральна, то есть лишена всех зарядов. А как обстоит дело в случае с нейтрино? Читатель уже знает, что оно электрически нейтрально. Но является ли нейтрино истинно нейтральным? Отличается ли оно от антинейтрино?

Опыты с реактором дали следующий ответ: да, нейтрино и антинейтрино — разные частицы. Нейтрино имеет неэлектрический, так называемый нейтринный заряд. Природа этого заряда очень любопытна. Она выяснилась только несколько лет назад, особенно благодаря теоретическим работам китайских физиков Ли и Янга и советского физика Ландау. Оказывается, что нейтрино и антинейтрино вращаются в разные стороны по отношению к направлению их движения. В этом и состоит единственная разница между ними. Сущность нейтринного заряда — это «спиральность», причем нейтрино будет напоминать штопор с левыми витками, а антинейтрино — штопор с правыми витками.

А сейчас я должен извиниться перед читателями: выше я

говорил для простоты, что урановый реактор — источник нейтрино, но это неверно: в действительности, если исходить из общепринятого определения, реактор испускает антинейтрино.

То, что я рассказывал до сих пор, — это прошлое нейтрино. Но исследования свойств этой частицы бурно развиваются, и мне хочется сказать хотя бы несколько слов о нерешенных загадках. Речь идет о физике нейтрино высоких энергий — новой области исследований элементарных частиц, только что созданной работами советских и зарубежных физиков. Нейтрино, рождающиеся в реакторах, обладают энергией в несколько миллионов электронвольт. Это в миллион раз больше энергии электронов в атоме. Но сегодня, когда имеются машины, ускоряющие частицы до десятков миллиардов электронвольт, реакторы уже рассматриваются как источники нейтрино «низкой энергии».

Но дело не только в величине энергии: физика нейтрино высоких энергий исследует нейтрино мезонной природы, то есть частицы, рождающиеся при распаде мезонов. Здесь сразу же возникает вопрос: являются ли «неуловимые» нейтрино, испускаемые в совершенно разных процессах, тождественными частицами? Точнее говоря, отличаются ли чем-нибудь «мезонные нейтрино», испускаемые распадающимися мезонами, от «электронных нейтрино» — уже знакомых читателю частиц, рождающихся в процессах бета-распада? Вот один из центральных вопросов сегодняшней физики. Решение этой проблемы требует огромных средств и гигантских ускорителей, разгоняющих заряженные частицы до энергии в десятки миллиардов электронвольт. В них можно получить интенсивные пучки мезонов, которые, распадаясь, создают потоки нейтрино мезонной природы. Эксперименты такого рода ведутся сейчас в различных лабораториях мира.

Физике нейтрино предстоит решить и другие задачи. Об одной из них я хочу коротко рассказать, поскольку она имеет первостепенную важность для понимания законов, которым подчиняется микромир. Имеет ли место рассеяние нейтрино электронами, то есть могут ли электроны отклонять нейтрино с той же вероятностью, с какой происходят все другие процессы, в которых участвуют нейтрино? Поставить соответствующий эксперимент, по-видимому, будет не просто. Здесь хочется только отметить, что этот сугубо абстрактный вопрос, интересный, казалось бы, только для физики элементарных частиц, имеет большое значение и в астрофизике. Действительно, недавно было показано, что гипотеза существования электрон-нейтринного взаимодействия приводит к мысли о новых мощных механизмах

потери энергии звездами, основанных на испускании пар нейтрино — антинейтрино.

Б. Понтекорво, С.С. Герштейн (слева) на строительстве Баксанской нейтринной лаборатории. 1974 г.

Нигде так ясно не проявляется связь между микромиром и космосом, как в физике нейтрино. Но проблем нейтринной астрономии и космогонии много. К тому же читатель, наверное, чувствует, что даже в этом коротком рассказе он уже получил по меньшей мере годовую дозу нейтрино.

Нейтрино в лаборатории и во вселенной

В последнее время все чаще и чаще не только в солидных научных журналах, но и на страницах газет и популярных изданий читатель встречается с «таинственной» элементарной частицей, носящей довольно странное название — «нейтрино». Что же это за частица, какую роль она играет в физике элементарных частиц и во Вселенной?

Начнем с того, что объясним ее название.

Когда эта частица впервые появилась в физике, ученые уже твердо знали, что существуют такие элементарные частицы, как нейтроны и протоны — «кирпичики», составляющие атомное ядро. Нейтрон не имеет электрического заряда, и по этой причине он получил такое название.

В 1931 г. известный швейцарский физик Вольфганг Паули по причинам, которые я объясню ниже, пришел к выводу, что в природе должна существовать еще одна нейтральная частица с массой намного меньшей, чем у нейтрона, как он говорил, «маленький нейтрон». Когда он излагал эту идею с трибуны одного международного научного совещания, итальянский физик Энрико Ферми перебил его словами:

— Называйте его «нейтрино»!

Дело в том, что по-итальянски уменьшительно-ласкательное окончание «-ино» соответствует русским суффиксам «-чик» или «-ушк-». Так что нейтрино в переводе с итальянского будет означать «маленький нейтральный», или просто «нейтрончик».

Так нейтрино было изобретено Паули, а окрещено Ферми.

Почему физики-теоретики придумали нейтрино

Как часто бывает в науке, новые идеи выдвигаются тогда, когда в рамках существующих знаний возникает парадокс. «Изобретение» нейтрино также было вызвано кажущимся парадоксом, обнаруженным при экспериментальном исследовании так называемого процесса бета-распада. Этот процесс состоит в самопроизвольном испускании отрицательных электронов ($e-$) атомными ядрами. Когда нейтрино еще не было «изобретено», предполагали, что бета-распад ядра Z, имеющего заряд $+Ze$, происходит по схеме

$$Z \rightarrow (Z + 1) + e-$$

Но оказалось, что энергии вылетающих электронов в этом процессе не строго определенные, а самые разнообразные. В большинстве случаев энергии явно не хватало по сравнению с той, какую они должны были теоретически иметь. Создавалось впечатление, что энергия куда-то исчезает, как будто нарушался закон сохранения энергии. Трудности были настолько серьезными, что некоторые крупные физики предлагали даже отказаться от этого фундаментального закона.

Кажущееся несохранение энергии, однако, имело довольно странный характер. Действительно, если энергия не сохраняется в процессе бета-распада, то мы должны были бы ожидать, что иногда энергии электронов будет не хватать, а иногда появится «лишняя». Однако оказалось, что «выигрыша» энергии не бывает.

Таким образом, не естественное стремление сохранить незыблемыми законы физики, а факты, которым в науке всегда принадлежит последнее слово, заставили встать на защиту закона сохранения энергии. Но как?

«Изобретатель» нейтрино рассуждал так. Кажущееся несохранение энергии обусловлено просто тем, что вышеприведенная схема неправильно описывает процесс бета-распада. В нем должна участвовать ненаблюдаемая на опыте нейтральная (и потому практически необнаружимая) частица, уносящая «исчезнувшую» энергию. Она и была названа нейтрино (ν). Таким образом, схема бета-распада выглядела так:

$$Z \rightarrow (Z + 1) + e- + \tilde{\nu}$$

(разрешите мне пока не давать объяснения значку «~» над символом ν).

И хотя выделяющаяся при этом суммарная энергия всех частиц имеет точно определенную величину, она распределяется между продуктами распада так, что в разных случаях электрон получает разные ее порции. Самый фундаментальный процесс бета-распада — распад нейтрона будет поэтому описан схемой

$$n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}$$

Внутри атомных ядер протон также может превращаться в нейтрон с испусканием положительного электрона (или позитрона) и нейтрино:

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu$$

Заметим здесь, что с логической точки зрения тот тип рассуждений, который привел Паули к теоретическому предсказанию существования нейтрино, часто встречается при решении даже самых простых парадоксов. Вот, например, старый парадокс с цирюльником. В маленьком городке, скажем, в Дубне на Волге, живет парикмахер, который подстригает всех мужчин, кто не стрижет самих себя. Спрашивается, стрижет ли себя сам парикмахер? Ясно, что как положительный, так и отрицательный ответ на этот вопрос ведет к противоречию. Парадокс решается, если сообразить, что нет и не может быть такого парикмахера. И если вы внимательно проследите за рассуждениями Паули, вы увидите, что аргументы в пользу существования нейтрино в природе очень похожи на те, которые приводятся против существования нашего парикмахера в Дубне.

Итак, нейтрино — это частица, которая при бета-распаде уносит часть энергии. Так предполагали физики-теоретики, которые с самого начала изобрели ее как «неуловимую» частицу. И сразу же были предсказаны свойства новой частицы: она должна быть электрически нейтральной, очень проникающей и чрезвычайно малой по массе. Иначе экспериментаторам было бы нетрудно обнаружить ее, а это оказалось совсем не просто. Последнее свойство — крайне малая масса — согласно теории относительности приводит к тому, что нейтрино не может находиться в состоянии покоя: оно всегда движется со скоростью света.

После того как гипотеза о существовании нейтрино была

сформулирована, физики попытались найти и другие доказательства его присутствия в бета-распаде. Как известно, при превращениях частиц, как и при любых физических процессах, происходящих в какой-нибудь системе, сохраняется не только энергия, но и количество движения, или импульс. Закон сохранения количества движения, вероятно, известен читателю: на нем основан, например, принцип действия ракеты.

Если нейтрон, испытывающий бета-распад, неподвижен, то его импульс равен нулю. Значит, и суммарный импульс всех частиц — продуктов распада — также должен быть равен нулю. Но в многочисленных опытах, первый из которых еще в 1934 г. поставил советский физик Александр Ильич Лейпунский, было показано, что суммарный импульс электрона и ядра отдачи (Z + 1) при бета-распаде ядра Z не равен нулю. Это подтверждает гипотезу о нейтрино: неуловимая частица уносит «исчезающий» импульс.

Как выяснилось после открытия других элементарных частиц, особенно так называемых мезонов, нейтрино принимает участие не только в бета-распаде ядер, но и в других процессах. Его присутствие обнаруживается всегда, когда энергия как будто исчезает. Кстати, в некоторых из этих процессов, где число образующихся частиц равно двум, а не трем, как в процессе бета-распада, характер «несохранения энергии» более чем подозрителен и требует существования нейтрино еще яснее, чем в случае бета-распада.

Например, при распаде так называемого пиона (или пи-мезона) всегда «исчезает» определенная энергия, около 30 миллионов электронвольт. В процессе захвата мюона (или мю-мезона) ядром гелия-3

$$\mu^- + {}^3He \rightarrow {}^3H + \nu,$$

обнаруженном в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне, «исчезает» около 100 миллионов электронвольт (энергия нейтрино), а ядра отдачи трития ^3H имеют энергию, всегда точно равную 1,9 миллиона электронвольт. Если бы эти процессы были известны раньше, чем бета-распад, быть может, не было бы необходимости в гении Паули для «изобретения» нейтрино.

Подводя итоги, можно сказать, что нейтрино было «изобретено» теоретически, что свойства этой «неуловимой» частицы были первоначально постулированы с целью оправдания ее «ненаблюдаемости». Такое положение господствовало в физике

нейтрино в последние 25 лет. Ферми, оставивший неизгладимый след во всех областях физики, не мог успокоиться только почетной ролью «крестного отца» нейтрино и создал количественную теорию процесса бета-распада, основанную на аналогии с теорией излучения квантов света возбужденным атомом. Согласно этой теории, подобно тому, как фотон рождается в процессе разрядки возбужденного состояния, а не находится заранее внутри возбужденного атома, так и атомное ядро испускает пару нейтрино — электрон в процессе бета-распада, а о существовании нейтрино и электронов внутри ядра речь идти не может.

Возможно, что у некоторых, если не у всех, читателей возникла скептическая мысль: ведь нейтрино открыли теоретически, исследовали косвенным образом, а не фантазия ли все это?

Теоретическое «изобретение» нейтрино, правда, вполне обоснованно. Но нейтрино, конечно, материально и, в принципе, доступно регистрации. Его ненаблюдаемость могла быть только временной, вызванной трудностями, связанными с уровнем экспериментальной техники. Поэтому физики, так же как и читатели этой статьи, вправе требовать «железной» проверки гипотезы нейтрино.

Как физики-экспериментаторы «поймали» нейтрино

Поймать неуловимое, зафиксировать эффект, вызванный свободным нейтрино, — вот что было необходимо для окончательного доказательства существования этой таинственной частицы.

Сложность задачи объяснялась колоссальной проникающей способностью, которая ожидалась для нейтрино. Откровенно говоря, об этом не было достаточно конкретно сказано в начале нашей статьи, чтобы не вызвать у читателя полного недоверия. Но сейчас речь пойдет об опытах, которые позволили «поймать» нейтрино и доказали, что оно действительно обладает теоретически приписанными ему удивительными свойствами. И теперь можно сказать, что нейтрино могут беспрепятственно проникать, скажем, сквозь чугунную плиту, толщина которой в миллиарды раз превышает расстояние от Земли до Солнца!

Иными словами, через километровую толщину твердого вещества надо пропустить миллион миллиардов нейтрино, чтобы хоть одно из них могло вызвать какой-нибудь эффект.

И все же эта, казалось бы, неразрешимая задача была решена. Понятно, что пропускать одно нейтрино сквозь астрономическую толщину вещества, чтобы оно с большой вероятностью прореагировало, — это нереально. Более практично пропускать астрономическое число нейтрино через разумную, скажем, метровую, толщину жидкого или твердого вещества.

Здесь помогло бурное развитие нейтронной физики, связанное с открытием и техническим освоением атомной энергии.

Известно, какое огромное значение в науке и практике имеют ядерные реакторы — устройства, в которых совершается деление ядер урана нейтронами. В каждом акте деления образуется несколько бета-радиоактивных ядер. И если справедлива гипотеза о существовании нейтрино, то в распадах таких ядер нейтроны должны испытывать превращения согласно знакомой нам схеме:

$$n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}$$

(теперь можно сказать, что значок «~» над символом нейтрино ν означает, что речь идет об антинейтрино; о том же, что это такое, мы расскажем немного ниже).

Значит, мощные реакторы должны быть интенсивными источниками антинейтрино.

В качестве примера рассмотрим атомный реактор мощностью 300 тысяч киловатт. Это очень большая мощность. Каждую секунду такой реактор испускает около 5·1019, т. е. больше 10 миллиардов миллиардов антинейтрино. И все же уловить «проскальзывающие» частицы и здесь крайне трудно. О попытке зафиксировать нагрев вещества под действием нейтрино не может быть и речи. Для того чтобы, скажем, половина энергии, переносимой этим потоком частиц, освобождалась в виде тепла, необходим поглотитель массой 1060 тонн, что неизмеримо превышает массу Солнца.

Зато регистрация отдельных событий, вызванных антинейтрино, возможна. Физики предсказали любопытный ядерный процесс, который, несомненно, может быть вызван нейтрино и антинейтрино, если они существуют, — процесс, обратный бета-распаду.

На праздновании 70-летия профессора Б. Валена (Франция), 1982 г. Бруно Понтекорво поздравляет юбиляра

Представьте себе, что антинейтрино встречается с протоном — ядром атома водорода. Что произойдет при этом?

Теория утверждает: будут случаи, когда антинейтрино и протон превратятся в позитрон и нейтрон:

$$\tilde{\nu} + p \rightarrow n + e+$$

Вероятность этого процесса можно хорошо рассчитать. А

регистрируя его в эксперименте, можно одновременно проверить гипотезу существования нейтрино.

Разумеется, для эксперимента необходим очень мощный источник «неуловимых» частиц. Но упоминавшийся нами реактор мощностью в 300 тысяч киловатт вполне пригоден для этой цели. На расстоянии 10 метров от него ожидаемый поток антинейтрино через каждый квадратный сантиметр составит примерно 10^{13} частиц в секунду. Такой поток антинейтрино, бомбардирующих тонну содержащего водород вещества (иначе говоря, запас протонов), по расчету должен каждый час вызывать около 100 превращений протонов в нейтроны.

И это предвидение сбылось. Оно подтвердилось в блестящем опыте, законченном в 1957 г. американскими физиками Райнесом и Коуэном. Антинейтрино попадали в огромный сцинтилляционный счетчик — цистерну с содержащим водород веществом, способным испускать вспышку света (сцинтилляцию), когда сквозь него проходит электрически заряженная частица. Каждую такую вспышку регистрировали фотоэлементы.

Эксперимент проходил так. Как только протон, которому выпала крайне редкая судьба встретиться с антинейтрино, превращался в нейтрон и позитрон, последний давал вспышку и регистрировался фотоэлементами. Через некоторое время нейтрон замедлялся и, когда он становился совсем медленным, захватывался одним из ядер атомов вещества счетчика. При этом рождались кванты электромагнитного излучения, которые регистрировались в том же сцинтилляторе. Таким образом, каждое взаимодействие антинейтрино с протоном влекло за собой две вспышки света. Одна из них фиксировалась сразу же, а другая — с некоторой задержкой.

Опыт был необычайно трудным. Достаточно сказать, что объем сцинтиллятора примерно в тысячу раз превышал обычный объем подобных устройств, используемых в исследовательских работах по ядерной физике. Это было вызвано тем, что благодаря «инертности» антинейтрино меньший объем прибора привел бы к очень незначительному числу регистрируемых событий.

Подготовка и выполнение этого уникального эксперимента потребовали более пяти лет.

Так «вор энергии» был наконец пойман. Он занимает сейчас прочное место в семье фундаментальных кирпичиков материи.

От всех других элементарных частиц нейтрино отличается чрезвычайно слабым взаимодействием с ними. Это объясняет и астрономическую проникающую способность нейтрино. Такое слабое взаимодействие могут испытывать и все другие элементарные частицы. Однако последние, кроме слабых

взаимодействий, испытывают и иные, несравнимо более сильные, так что их проникающая способность измеряется, скажем, только десятками сантиметров чугуна.

Нейтрино уникально тем, что у него только слабое взаимодействие, чистейшим представителем которого оно является.

Сильные и слабые взаимодействия элементарных частиц

Читателю знакомы разные по своей природе силы, проявляющиеся во взаимодействиях между телами. Но глубоко различающихся в принципе типов взаимодействия очень мало. Если не считать тяготения, которое играет существенную роль только в присутствии огромных масс, то известны лишь три вида взаимодействий: сильные, электромагнитные и слабые.

Электромагнитные взаимодействия всем знакомы. Благодаря им движущийся неравномерно электрический заряд (скажем, электрон в атоме) испускает электромагнитные волны (например, видимый свет). С этим классом взаимодействий связаны все химические процессы, а также все молекулярные явления — поверхностное натяжение, капиллярность, адсорбция, текучесть. Электромагнитные взаимодействия, теория которых блестяще подтверждается опытом, глубоко связаны с электрическим зарядом элементарных частиц.

Сильные взаимодействия стали известны только после раскрытия внутренней структуры атомного ядра. В 1932 г. было обнаружено, что оно состоит из нуклонов, нейтронов и протонов. И именно сильные взаимодействия соединяют нуклоны в ядре — отвечают за ядерные силы, которые в отличие от электромагнитных характеризуются очень малым радиусом действия (около $10-13$, т. е. одной десятитриллионной доли сантиметра) и большой интенсивностью. Кроме этого, сильные взаимодействия появляются при столкновениях частиц высоких энергий с участием пионов и так называемых «странных» частиц.

Интенсивность взаимодействий удобно оценивать по так называемой длине свободного пробега частиц в некотором веществе, т. е. по средней величине пути, который частица может пройти в этом веществе до разрушающего или сильно отклоняющего соударения. Ясно, что чем больше длина свободного пробега, тем менее интенсивно взаимодействие.

Если рассматривать частицы очень высокой энергии, то соударения, обусловленные сильными взаимодействиями, характеризуются длиной свободного пробега частиц, соответствующей по порядку величины десяткам сантиметров в меди или железе.

Иначе обстоит дело при слабых взаимодействиях. Как мы уже сказали, длина свободного пробега нейтрино в плотном веществе измеряется в астрономических единицах. Это указывает на

удивительно малую интенсивность слабых взаимодействий.

Любой процесс взаимодействия элементарных частиц характеризуется некоторым временем, определяющим его среднюю продолжительность. Процессы, вызванные слабыми взаимодействиями, часто называют «медленными», так как время для них относительно велико.

Читатель, правда, может удивиться тому, что явление, происходящее, скажем, за $10-6$ (одну миллионную долю) секунды, классифицируется как медленное. Такое время жизни характерно, например, для распада мюона, вызванного слабыми взаимодействиями. Но все познается в сравнении. В мире элементарных частиц такой промежуток времени действительно весьма продолжителен. Естественной единицей длины в микромире служит $10-13$ сантиметра — радиус действия ядерных сил. А так как элементарные частицы высокой энергии имеют скорость, близкую к скорости света (порядка 1010 сантиметров в секунду), то «нормальный» масштаб времени для них составит $10-23$ секунды.

Это значит, что время 10-6 секунды для «граждан» микромира гораздо более продолжительно, чем для нас с вами весь период существования жизни на Земле.

Действительно ли нейтрино нейтрально?

Урановые реакторы помогли выяснить еще одну важную характеристику нейтрино, а именно — существование у него «нейтринного» заряда. Но разве нейтральная частица может обладать зарядом?

Известно, что в природе имеется очень красивая симметрия, которая в последние несколько лет была окончательно подтверждена рядом фундаментальных опытов. Симметрия эта состоит в том, что каждой частице соответствует двойник — античастица, имеющая массу, одинаковую с частицей, а все «заряды» противоположного знака.

«Заряд» — это любая внутренняя характеристика частицы, которой приписывается знак: или положительный, или нейтральный, или отрицательный. Любому виду заряда обязательно свойственны неуничтожаемость и дискретность (т. е. они могут принимать только вполне определенные и выделенные значения).

Ясно, что электрически заряженная частица, скажем, отрицательный электрон, будет отличаться от своей античастицы — положительного электрона. Но и электрически нейтральная частица, т. е. частица, не имеющая электрического заряда, может отличаться от своей античастицы. Конечно, если все заряды данной частицы равны нулю, то она тождественна со своей античастицей; она в этом случае истинно нейтральна.

А как обстоят дела с нейтрино? Мы уже знаем, что оно электрически нейтрально. Но является ли нейтрино истинно нейтральным? Отличается ли нейтрино от антинейтрино? И вот опыты с реактором дали следующий ответ: да, нейтрино и антинейтрино — разные частицы. Нейтрино не истинно нейтрально; оно имеет неэлектрический заряд — так называемый нейтринный заряд.

Но прежде чем рассказать о том, как это было показано, мне предстоит еще выполнить свое обещание и раскрыть смысл значка «~» над символом нейтрино ν.

Как мы уже говорили, $\tilde{\nu}$ означает антинейтрино. Так назвали «неуловимую» частицу, которая возникает при распаде нейтрона.

Почему же антинейтрино, а не нейтрино? Это название выбрано совершенно произвольно и только ради удобства. Такие условности в физике встречаются нередко. Например, ничего не изменилось бы, если бы в один прекрасный день мы решили считать электрический заряд электрона положительным. Конечно, автоматически заряд у антиэлектрона стал бы отрицательным.

Итак, мы называем антинейтрино ту частицу, которая испускается при бета- распаде совместно с отрицательным электроном (когда нейтрон превращается в протон). Но физики давно знают и другой процесс, именуемый бета-плюс-распадом, когда протон внутри атомного ядра самопроизвольно превращается в нейтрон, позитрон и «неуловимую частицу». И только эту частицу мы должны назвать нейтрино.

Однако пока совершенно не ясно, отражают ли эти два названия реальную суть вещей или различие между ними чисто формальное. Иначе говоря, нам надо выяснить, отличаются ли по каким-то характеристикам нейтрино от антинейтрино.

Мы видели, что антинейтрино с протоном может дать позитрон и нейтрон. Аналогично этому столкновение нейтрино с нейтроном может дать электрон и протон (ибо последняя реакция вызвана тем же самым взаимодействием, что и предыдущая).

Но другое дело, если мы рассмотрим реакции

$$\nu + p \rightarrow n + e+, \tilde{\nu} + n \rightarrow p + e-$$

Обе эти реакции получены из двух предыдущих путем замены нейтрино на антинейтрино и наоборот. Если различие между нейтрино и антинейтрино чисто формальное, если оно существует лишь в записи, то, конечно, возможны обе реакции. Если же это различие реальное, т. е. отражает различие внутренних свойств этих частиц, то эти реакции невозможны.

Итак, для проверки вопроса о различии нейтрино и антинейтрино можно использовать одну из последних реакций. Поскольку мы не имеем интенсивных источников нейтрино, но у нас есть зато источники антинейтрино — урановые реакторы, то удобно исследовать вторую из приведенных выше реакций. Правда, вещества, состоящего из одних только нейтронов, не существует. Но это не принципиальный вопрос. Можно изучить реакцию на нейтронах, находящихся внутри атомного ядра. Особенно удобным оказалось ядро хлора-37. Этот крайне трудный опыт был закончен недавно. Было найдено, что процесс не осуществляется. Значит, и в самом деле нейтрино и антинейтрино — разные частицы, имеющие противоположные знаки некоего неэлектрического, нейтринного заряда.

Какова природа этого заряда?

С тех пор как была выдвинута гипотеза о нейтрино, не было сомнения в том, что нейтрино должны иметь «спин», т. е. являются вращающимися объектами (в квантово-механическом смысле). Можно было ожидать, что в составе пучка нейтрино половина частиц имеет правое вращение по отношению к направлению движения, а другая половина — левое. Это следовало из физического закона, который до 1957 г. считался неоспоримым, — «закона сохранения четности». В соответствии с ним во всех физических явлениях должна иметь место строгая право-левая («зеркальная») симметрия, так что в природе не должны происходить явления, в которых правое преобладает над левым и наоборот.

В нашем случае закон сохранения четности запрещает испускание, как говорят физики, «продольно поляризованных» нейтрино, т. е. нейтрино, имеющих, скажем, преимущественно левое вращение по отношению к направлению движения.

Кроме того, до 1957 г. думали, что имеет место и другая симметрия — зарядовая, благодаря которой любое физическое явление остается «инвариантным» (т. е. описывается одним и тем же математическим законом), если каждую частицу заменить ее античастицей. Такая симметрия не позволяет нейтрино иметь только левое вращение, а антинейтрино — только правое.

Однако в 1957 г. китайские физики, работающие в США, — Ли Дзундао и Янг Чженьнин — выдвинули гипотезу, что при слабых взаимодействиях эти два закона симметрии не имеют места. В многочисленных экспериментах обнаружились явления, в которых эти законы явно нарушаются, но обязательно оба сразу.

Советский физик, лауреат Ленинской и Нобелевской премий Лев Давидович Ландау показал, что в природе существует более глубокая симметрия, которую он назвал комбинированной инверсией. Предложенный им новый закон утверждает, что любое явление остается инвариантным, если одновременно «правое заменить на левое», а каждую частицу заменить ее античастицей.

С точки зрения нового закона нейтринный пучок «имеет право» быть полностью поляризованным. Кроме того, если нейтрино вращается справа налево, то антинейтрино должно вращаться слева направо по отношению к направлению своего движения. Такая возможность и предусматривается теорией «продольного нейтрино» А. Салама, Л. Ландау, Ли и Янга, согласно которой эти частицы должны быть полностью поляризованы. Вместе с тем, по этой теории, нейтрино обязаны

иметь массу, строго равную нулю, а значит, в соответствии с теорией относительности, скорость их всегда равна скорости света.

Все эти предсказания теории ныне подтверждаются в опытах. Доказано, что нейтрино вращается справа налево (если смотреть по ходу его движения). Известно, что степень поляризации нейтрино и антинейтрино очень высока. Правда, не доказано еще экспериментально, полностью ли поляризованы неуловимые частицы, как этого требует теория продольного нейтрино, и точно ли равна нулю их масса.

IV Международная школа по нейтронной физике, июнь 1982 г. Б. Понтекорво и профессор С. Раман (США)

Таким образом, мы может заключить, что нейтрино и антинейтрино отличаются друг от друга тем, что имеют разное направление «спиральности», причем нейтрино напоминает винт с левой резьбой, а антинейтрино — с правой. Но здесь возникает естественный вопрос: сведется ли к этому сущность нейтринного заряда? Иными словами, является ли разное направление «спиральности» нейтрино и антинейтрино единственным различием между этими частицами?

Всего несколько месяцев назад большинство физиков, я думаю, дали бы положительный ответ на этот вопрос. Однако недавно законченный важный опыт, о котором речь будет идти ниже, показывает, что вопрос о природе нейтринного заряда не такой простой.

Нейтрино высоких энергий

То, о чем говорилось до сих пор, — это прошлое физики нейтрино. Сейчас я расскажу о задачах физики нейтрино, которые еще не решены или решаются в настоящее время.

Исследования нейтрино бурно развиваются, особенно в связи с созданием советскими и зарубежными физиками новой области физики элементарных частиц — физики нейтрино высоких энергий.

Нейтрино, испускаемые радиоактивными ядрами урановых реакторов, имеют энергию, по порядку величины равную характерной ядерной энергии, т. е. несколько миллионов электронвольт. Эта энергия в миллион раз превышает энергию электронов в атоме, но сегодня, когда имеются машины, ускоряющие частицы до десятков миллиардов электронвольт, реакторы рассматриваются как источники нейтрино низкой энергии.

Для физики нейтрино высоких энергий характерно то, что в этой области науки исследуются главным образом нейтрино «пионной природы», т. е. нейтрино, рождающиеся при распаде пиона.

Как можно получить пучок нейтрино пионной природы?

Представьте себе современный ускоритель, дающий протоны с энергией в десятки миллиардов электронвольт (такой, как дубненский синхрофазотрон Объединенного института ядерных исследований или американский брукхейвенский ускоритель). Когда протоны попадают на мишень (скажем, алюминиевую пластинку толщиной в несколько сантиметров), рождаются пионы. Эти пионы распадаются на лету (средний путь их до распада в вакууме измеряется десятками метров). При этом образуется нейтрино согласно схеме

$$\pi \rightarrow \boldsymbol{\mu} + \nu$$

И вот именно пучки нейтрино пионной природы используются в настоящее время в крупнейших лабораториях мира. Масштаб опытов потрясающ. Для их выполнения необходимы ускорители с магнитами, вес которых превышает десятки тысяч тонн, а сам детектор нейтрино весит десятки тонн.

Каковы главные проблемы физики нейтрино высоких энергий? Современная количественная теория слабых взаимодействий, созданная недавно Ричардом П. Фейнманом и

Мюрреем Гелл-Манном на основе идей Ферми, Ли и Янга, Ландау и Салама, универсальна. Это означает, что поведение всех других частиц при слабых взаимодействиях по существу одинаково с поведением нейтрино.

Согласно теории Фейнмана и Гелл-Манна, физические процессы, связанные со слабым взаимодействием, в области малой энергии можно рассчитать довольно хорошо. Но при больших энергиях появляются фундаментальные трудности. Сама теория предсказывает, что слабость взаимодействия нейтрино относительно уменьшается, когда энергия нейтрино увеличивается.

Если это увеличение интенсивности взаимодействия нейтрино с возрастанием энергии продолжается, то при фантастически высокой энергии в 300 миллиардов электронвольт мы столкнулись бы с абсурдным результатом: вероятность некоторых событий превышала бы единицу, а мы знаем, что вероятность по ее природе всегда менее единицы или равна ей. Это означает, что при энергии меньше 300 миллиардов электронвольт увеличение интенсивности взаимодействия должно прекратиться.

Но сразу возникают следующие вопросы. Будет ли увеличение интенсивности взаимодействия прекращаться вблизи 300 миллиардов электронвольт или при очень существенно меньшей энергии? Этот вопрос можно поставить и по-другому: станет ли слабое взаимодействие сильным при очень высокой энергии или нет?

Второй вопрос: какой механизм отвечает за прекращение роста интенсивности взаимодействия?

Определенных ответов на эти вопросы физики пока не могут дать. Самый простой теоретический ответ (правда, не обязательно правильный) состоит в предположении, что слабые взаимодействия четырех частиц (например, нейтрона, протона, электрона и нейтрино при бета-распаде) имеют, так сказать, вторичный характер: они как будто обусловлены гипотетической частицей В (физики называют ее «промежуточным бозоном», а почему, я не стану объяснять), которая является носителем слабых взаимодействий.

Приводимые здесь схемы представляют соответственно бета-распад нейтрона при двух предположениях:

а) без промежуточного бозона, т. е. когда процесс взаимодействия четырех частиц — первичный (или, как говорят, локальный);

б) когда взаимодействие четырех частиц вторично и

осуществляется промежуточным бозоном.

Оказывается, что во втором случае увеличение интенсивности взаимодействия с ростом энергии частиц естественным образом прекращается при относительно небольшой энергии.

Таким образом, существование частицы B помогает понять трудный теоретический вопрос. В настоящее время в разных лабораториях предпринимаются попытки наблюдать эту частицу при помощи пучков нейтрино высокой энергии.

Но, оказывается, и существование этой гипотетической заряженной частицы создает определенные трудности.

Дело в том, что на основании ее существования физики предсказали ряд процессов, которые в действительности не происходят. Правда, трудность довольно общая и не связана только с существованием частицы B, но она особенно ярко проявится, если заряженный промежуточный бозон существует. Типичный пример таких неосуществимых процессов — так называемый радиационный распад мюона, т. е. испускание мюоном электрона и фотона:

$$\mu^{\pm} \rightarrow e^{\pm} + \gamma$$

В течение долгого времени физики безуспешно пытались обнаружить этот процесс. Что же запрещает мюону превращаться в электрон и фотон? Здесь следует возвратиться к общему понятию о зарядах частиц.

Вспомним, что при разных превращениях любой заряд сохраняется точно так же, как электрический. Именно тот факт, что некоторые, на первый взгляд возможные, превращения частицы на самом деле не наблюдаются, заставил ввести понятие разных зарядов. Неуничтожаемость заряда (любого, а не только электрического) запрещает эти превращения. Например, мы знаем, что нуклоны — протоны и нейтроны — никогда не распадаются только на «легкие частицы». Это позволяет утверждать, что нуклон имеет так называемый барионный заряд, а никакая комбинация легких частиц барионного заряда не имеет.

Сразу возникает подозрение, что процессы типа распада мюона на электрон и фотон, которые ожидались теоретически, но в действительности не происходят, запрещены законом сохранения некоторого до сих пор неизвестного заряда, скажем, «мюонного» заряда, характерного для мюона, но не для электрона. Здесь следует напомнить, что фотон — истинно нейтральная частица. Он не имеет никаких зарядов.

Однако имеется один процесс — распад мюона, в котором мюон и электрон участвуют совместно. Такой процесс состоит в испускании мюоном электрона совместно с двумя разными частицами ничтожно малой массы, о чем свидетельствуют экспериментальные исследования формы спектра электронов в этом процессе. На этом основании долго думали, что процесс идет по схеме

$$\mu^{\pm} \rightarrow e^{\pm} + \nu + \tilde{\nu}$$

Но такая схема трудно совместима с предположением о существовании мюонного заряда, запрещающего переход мюона в электрон и фотон. Ведь пара νν-, по определению частицы и античастицы, не имеет никаких зарядов, как и фотон, так что в описанной схеме мюонный заряд, если он существует, не сохраняется.

Можно предположить, что имеются два сорта пар нейтрино — антинейтрино: «мюонные» и «электронные». При этом они отличаются друг от друга тем, что у «мюонных» нейтрино νμ (но не у «электронных» νe) имеется мюонный заряд.

Тогда распад мюона может происходить по схеме

$$\mu^{+} \rightarrow e^{+} + \nu e + \tilde{\nu}\mu$$

и мюонный заряд сохраняется, поскольку разница зарядов мюона и электрона, так сказать, компенсируется разницей зарядов испускаемых «неуловимых» частиц.

В настоящее время неизвестно, все ли приведенные аргументы правильны, но именно они, по существу, заставили советского физика Моисея Александровича Маркова и других ученых предсказать существование двух типов нейтрино. Это разрешило бы трудности, связанные с отсутствием процесса распада мюона на электрон и фотон и с возможностью существования В-частицы.

Таким образом, сегодня выявляются следующие главные проблемы физики нейтрино высоких энергий:

Как зависит интенсивность слабого взаимодействия от энергии?

Первично ли слабое взаимодействие или оно обусловлено некоторой промежуточной частицей?

Существует ли в природе только одна пара нейтрино или их две пары: νeν̃e и νμν̃μ?

Нейтрино и звезды

Нейтрино обязательно должно играть роль в явлениях макроскопического масштаба.

Прежде всего необходимо сказать (более подробно мы поговорим об этом ниже), что внутри звезд нейтрино образуются в большом количестве при ядерных превращениях, в частности при бета-распаде разных нестабильных ядер. Заметим, что сомнений в существовании такого испускания нейтрино звездами практически нет, хотя оно еще не обнаружено экспериментально.

Естественно, что нейтрино выходят без всяких затруднений, скажем, из Солнца.

А вот еще один пример макроскопического эффекта. Урановый атомный реактор мощностью в сотни тысяч киловатт «теряет» в виде антинейтрино десятки тысяч киловатт!

Часто встречаются ситуации, когда конкретную количественную роль нейтрино в том или ином явлении нельзя оценить из-за отсутствия сведений о некоторых его свойствах. Например, ответ на такой довольно тонкий вопрос физики элементарных частиц, как существование процесса нейтрино-электронного рассеяния, о котором говорилось выше, имеет далеко идущие астрофизические следствия.

В самом деле, в последние несколько лет было показано, что существование этого явления должно привести к новому механизму интенсивной потери энергии звездами, связанному с испусканием пар нейтрино — антинейтрино. Этот механизм должен иметь место на таких стадиях эволюции звезд, когда их температуры и плотности очень высоки. Оказывается, что «нейтринная» светимость некоторых звезд может намного превышать их «световую» светимость. Однако неизвестно, осуществляется ли этот процесс в действительности.

Во всяком случае, нигде так ясно не проявляется связь между микромиром и космосом, как в физике нейтрино. Недавно родилась новая область науки — нейтринная астрофизика, описывающая многочисленные явления, в которых нейтрино играют первостепенную роль. Нейтринная астрофизика имеет две стороны.

Во-первых, нейтрино участвуют в ряде процессов, происходящих внутри звезд. Поэтому астрофизика, как теоретическая наука, должна учитывать роль «неуловимых» частиц в динамических внутризвездных процессах. Не исключено, что нейтрино будут играть существенную роль и для космогонии.

Во-вторых, нейтрино, испускаемые звездами и вообще

исходящие из космического пространства, могут быть зарегистрированы в опытах, выполненных на Земле. Есть надежда таким образом получить ценные данные о Вселенной.

Эта сторона нейтринной астрофизики как экспериментальной науки особенно заманчива. Дело в том, что до сих пор нам был доступен практически единственный тип излучения, попадающего на Землю из космического пространства, — электромагнитные волны (видимый свет, инфракрасные и ультрафиолетовые лучи, короткие радиоволны). Правда, в последнее время с позиций астрофизики исследуются также космические лучи. Но об этом здесь мы говорить не будем.

Представьте себе, что со временем физики и астрофизики, работая совместно, получат возможность регистрировать интенсивность и энергию нейтрино и антинейтрино, летящих от отдельных небесных объектов и из космического пространства. Тогда в руках исследователей появятся мощные дополнительные способы решения астрофизических проблем. Заметим, в частности, что электромагнитные волны исходят только с поверхностного слоя небесных тел. Регистрация же нейтрино даст возможность «заглянуть» очень глубоко внутрь звезд. Ведь нейтрино легко пронизывают Солнце!

Разумеется, многое из сказанного выше хотя и принципиально возможно, но пока очень далеко от практического осуществления. Однако некоторые вопросы могут быть решены в близком будущем. Сейчас мы остановимся именно на них. Речь будет идти о Солнце.

Солнечные нейтрино

Несмотря на то, что вопрос об образовании нейтрино в звездах остается довольно неясным, все-таки кое-что об этом уже известно. Поток нейтрино от Солнца, например, теоретически вычислен. По порядку величины он равен 1010–1011 нейтрино в секунду на квадратный сантиметр поверхности Земли. Перенос энергии на поверхность Земли, связанный с потоком солнечных нейтрино, колоссален. Он составляет несколько процентов от общего солнечного излучения.

Так же определенно можно утверждать, что Солнце испускает именно нейтрино, а не антинейтрино. Это связано с типами ядерных реакций, которые могут происходить в звездах. Как известно, энергия Солнца и других звезд освобождается в так называемых водородных и углеродных циклах, в которых водород превращается в гелий. При этом в виде нейтрино излучается около 5 процентов энергии Солнца.

Первостепенный теоретический интерес имеет вопрос, какие именно ядерные реакции происходят в центральной части Солнца?

Нейтрино образуются в разных ядерных реакциях прямым или косвенным образом, причем энергия испускаемых нейтрино зависит от процесса, в котором они родились. Последнее обстоятельство очень важно, так как мы видели, что вероятность взаимодействий (а значит, и возможность регистрации) нейтрино сильно зависит от энергии «неуловимых» частиц. Следовательно, число зарегистрированных нейтрино разных энергий будет давать сведения о том, какие реакции происходят в «глубинах» Солнца.

Кроме того, полное число нейтрино, излучаемых Солнцем, известно пока слишком грубо. Первоочередная задача экспериментальной нейтринной астрофизики — определить с достаточной точностью это число.

Но как можно это сделать?

Мы уже говорили, что каждый квадратный сантиметр поверхности Земли пронизывают ежесекундно десятки миллиардов нейтрино. Огромная величина! И хотя «поймать» даже столь густой поток «неуловимых» частиц все равно очень трудно, задача эта разрешима. Тут приходит на помощь уже знакомая нам реакция — взаимодействие нейтрино с атомным ядром хлора-37. В качестве «мишени» для нейтрино можно использовать несколько тысяч тонн четыреххлористого углерода — вещества дешевого и широко распространенного. Напомним, что реакция

$$\nu + {}^{37}Cl \rightarrow {}^{37}Ar + e^-$$

характерна именно для нейтрино, а не для антинейтрино.

Состояние сегодняшней техники таково, что мы можем «ловить» нейтрино, имеющие энергию больше миллиона электронвольт, если поток частиц составляет не меньше 10 миллиардов штук в секунду через каждый квадратный сантиметр.

Нет сомнения в том, что первый шаг экспериментальной нейтринной астрофизики будет сделан в будущем именно при исследовании Солнца.

Нейтрино и антимиры

А теперь давайте пофантазируем — поговорим о менее реальных вещах. Я расскажу о некоторых принципиальных возможностях экспериментальной нейтринной астрофизики. Практические решения здесь еще очень далеки и, быть может, никогда не увидят свет.

После того как будут зарегистрированы нейтринные потоки от Солнца, необходимо будет сделать следующий шаг — измерить нейтринные потоки из космического пространства (мы уже видели, насколько важна эта задача) и от отдельных галактик. Для этого нужно увеличить чувствительность современных методов регистрации больше чем в миллион раз. Поэтому я не буду останавливаться подробно на этих вопросах, а проиллюстрирую только одну принципиальную возможность, которая открывается перед нейтринной астрофизикой. Это решение проблемы антимиров — миров, целиком построенных из античастиц.

Могут ли наблюдения с Земли сказать нам, существуют ли антимиры? Пусть мы видим какое-то небесное тело и хотим узнать, из вещества или из антивещества оно построено. Наблюдение света и вообще электромагнитных волн никак не может дать ответа на этот вопрос. Свет, испускаемый, скажем, атомом водорода, тождествен свету, испускаемому атомом антиводорода. Ведь фотоны — истинно нейтральные частицы: они не имеют никаких зарядов и не отличаются от своих античастиц.

А как обстоит дело с нейтринным излучением? Мы уже видели, что Солнце испускает нейтрино, а не антинейтрино. Это же относится и к любым звездам, где основной источник энергии — термоядерные реакции превращения водорода в гелий.

Теперь представьте себе «антисолнце», внутренние процессы которого аналогичны солнечным. Это значит, что источником энергии там служит превращение антиводорода в антигелий. Такие антисолнца дадут свет, неотличимый от света нашего Солнца. Однако они будут испускать антинейтрино, а не нейтрино. Можно представить себе, какие перспективы открываются перед нейтринной астрономией.

Нейтринные «телескопы»

Правда, надо предостеречь вас от слишком оптимистического представления о возможности решения изложенных вопросов. Дело не только в том, что речь идет о крайне малой интенсивности нейтрино и антинейтрино. Самая большая трудность связана с тем, что неизвестно, как создать эффективный нейтринный телескоп.

Нейтринных линз нет. Для того чтобы утверждать, что нейтринное излучение приходит от определенного небесного тела, необходимо измерить угловое распределение продуктов расщепления, вызванных нейтрино. Но оказывается, что в случае нейтрино с энергией несколько миллионов электронвольт или меньше это угловое распределение по отношению к направлению падающего пучка очень нечувствительно. Эта трудность так велика, что неизвестно, будет ли задача когда-нибудь решена. Но сама принципиальная возможность ее решения достаточно интересна.

Задача построения нейтринного телескопа значительно упрощается для нейтрино высокой энергии, превышающей миллиард электронвольт. В таком случае заряженные продукты, образующиеся при взаимодействии нейтрино с ядрами, сохраняют направление налетающих нейтрино, а это позволяет создать телескоп для «неуловимых» частиц высоких энергий. Таким телескопом может служить установка, помещенная на большую глубину и регистрирующая мюоны, которые рождаются в реакциях типа

$$\nu + \textit{ядро} \rightarrow \mu + \textit{ядро}$$

Подземная установка, по предположению М. А. Маркова, может выделять мюоны, образованные нейтрино, исходящими из нижней полусферы, т. е. проходящими сквозь всю Землю! Это возможно, конечно, так как длина свободного пробега нейтрино несравнимо больше диаметра Земли.

Подводя итоги, можно сказать, что существуют два аспекта физики нейтрино.

С одной стороны, исследование нейтрино как элементарной частицы имеет первостепенное значение для построения теории слабых взаимодействий элементарных частиц, почетным представителем которых нейтрино и является.

С другой стороны, нейтрино, без сомнения, играет

важнейшую роль в астрофизике и, быть может, в космогонии. Экспериментальная нейтринная астрофизика — почти еще не рожденная наука, первоочередная задача которой состоит в регистрации нейтрино, исходящих от Солнца.

Эти два аспекта, конечно, очень тесно связаны между собой. Некоторые макроскопические явления, в которых участвуют нейтрино, можно будет рассчитать только тогда, когда будут лучше известны некоторые фундаментальные свойства нейтрино как элементарной частицы.

Исследования нейтрино требуют усилий больших коллективов и очень много средств. Но проблема вызывает настолько большой интерес, что уже сейчас ей занимаются в разных лабораториях многих стран мира.

Открытие медленных нейтронов: некоторые воспоминания [20]

После окончания Римского университета я был оставлен ассистентом кафедры физики. Тема моих исследований была выбрана Ферми и Сегре. Это была работа по классической спектроскопии. В 1934 г. практически уже никто в Институте физики не занимался спектроскопией; весь коллектив лихорадочно исследовал радиоактивность, наведенную нейтронами, и на семинарах института царили «ядерные» доклады. Все эти обстоятельства привели к тому, что мое сердце было гораздо ближе к нейтронным исследованиям Ферми и сотрудников, чем к моей спектроскопической работе, которую я закончил летом 1934 г. Поэтому я был очень рад, когда по возвращении в Рим после каникул мне предложили помочь в нейтронных экспериментах.

Амальди и я должны были выполнить количественные измерения относительных активностей, наводимых нейтронами в разных веществах. Предыдущие аналогичные измерения Ферми и сотрудников носили только качественный характер. В то время (неизвестно почему) игнорировался эффект рассеяния и считалось, что действуют только первичные нейтроны; тогда наведенная в образце активность должна быть обратно пропорциональна квадрату расстояния R от источника, если это расстояние гораздо больше размеров источника и образца; но при таких расстояниях в образце наводится ничтожная активность. Итак, наша задача состояла в выборе удобной геометрии опытов по облучению в сравнимых условиях разных элементов на малом расстоянии от нейтронного источника. Но оказалось, что даже в простом случае, когда измерялись активности только одного образца (стандартного серебряного цилиндра), было трудно получить воспроизводимость результатов.

Как стало ясно впоследствии, это было связано с влиянием рассеяния и замедления нейтронов окружающими предметами. Но вначале, исходя из неявно сформулированной догмы, что «нет других нейтронов, кроме первичных», мы не могли найти никакого объяснения нерегулярностям наводимой активации. Первым шагом к решению этой загадки стало измерение активности нашего стандартного цилиндра, когда он находился на расстоянии около 20 см от источника, причем цилиндр и источник помещались в домик из свинцовых кирпичей, который защищал экспериментаторов от излучения. Закон 1/R2 привел бы

к ничтожно малой активности, что в отсутствие домика и было проверено особым экспериментом. Но в домике закон 1/R2 как будто не действовал. Активность в домике на расстоянии 20 см была вполне заметна. Мы с Амальди были совершенно уверены в реальности влияния свинца и назвали его эффектом «casteletto», что означает «эффект свинцового замка» (позднее стало ясно, что речь идет о неупругом рассеянии нейтронов на свинце). Интересна была реакция Ферми и Разетти. Разетти с его скептическим духом просто не поверил в наш результат. Ферми же сказал, что следует продолжать опыт, но как будто не проявил особого интереса. Как стало ясно позже, это было ложное впечатление.

Через несколько дней Ферми непосредственно включился в решение «свинцовой загадки». Он предложил измерить активность, наводимую в серебряном цилиндре, когда между ним и источником находится узкий свинцовый клин толщиной несколько сантиметров. Этот клин уже был готов, но… измерений с ним ни Ферми, ни другие не проводили. Не сказав никому ни слова, утром 22 октября 1934 г. Ферми решил измерить радиоактивность серебряного цилиндра, «пропуская» нейтроны от источника не через свинцовый, а через парафиновый клин тех же размеров, который он сам быстро изготовил. Результат был ясным: парафиновый «поглотитель» не уменьшал активности, а определенно (хотя и мало) увеличивал ее. Ферми вызвал всех нас и сказал: «Это происходит, вероятно, из-за водорода в парафине; если немного парафина дает заметный эффект, посмотрим, как будет действовать большое его количество». Опыт был сразу же выполнен сначала с парафином, а затем с водой. Результаты были потрясающими: активность серебра в сотни раз превысила ту, с которой мы имели дело ранее! Ферми прекратил шум и волнение сотрудников знаменитой фразой, которую, как говорят, он повторил через восемь лет при пуске первого реактора: «Пошли обедать».

Итак, был обнаружен эффект Ферми (замедление нейтронов), открывший новую главу ядерной физики, а также новую область техники, как мы говорим сегодня, — атомную технику.

Я столь подробно рассказал об открытии медленных нейтронов потому, что здесь очень существенными были как случайные обстоятельства, так и глубина и интуиция великого ума. Когда мы спросили Ферми, почему он поставил парафиновый, а не свинцовый клин, он улыбнулся и насмешливо произнес: «C. I. F.» (con intuito fenomenale). По-русски это звучало бы примерно как ПФИ (по феноменальной интуиции).

Было бы неправильно, если бы у читателя вследствие этой

ПФИ-бравады создалось впечатление, что Ферми нескромен. Он был непосредственным, очень простым и скромным человеком, но он просто был уверен в своих силах. Кстати, когда после обеда в этот знаменитый день он возвратился в институт и с удивительной ясностью объяснил нам эффект парафина, введя понятие о замедлении нейтронов, то совершенно искренне сказал: «Как глупо, что мы открыли явление случайно и не сумели его предсказать». Ферми сразу же угадал, что нейтроны, теряя энергию в столкновениях с водородом, замедляются вплоть до энергии теплового движения и что как раз медленные нейтроны очень эффективно могут наводить радиоактивность в нашем детекторе. Однако со свойственной ему научной осторожностью он подчеркнул, что идея о «тепловых» нейтронах остается пока гипотезой и ее проверку можно осуществить только при помощи обнаружения влияния температуры парафина или прямого измерения скоростей нейтронов. Первая попытка наблюдения влияния температуры на наведенную активность, кстати, была сделана Ферми очень скоро, но опыт, состоявший в поисках различия активации детектора при холодном и горячем парафине, не дал положительного результата, и только через несколько месяцев Муну и Тиллману в Англии, а также Ферми и сотрудникам удалось наблюдать это явление.

Уже в тот же день, сразу после обеда, был выполнен ряд опытов, показавших, что эффект парафина (и воды) связан в основном с водородом, а не с другими элементами, и что он обусловлен нейтронами, а не γ-лучами от источника Rn + Be.

Кроме того, было найдено правило, согласно которому чувствительность к водородсодержащим веществам обнаруживают не все активности, а только те, которые соответствуют образованию радиоактивного изотопа бомбардируемого элемента. Это был очень важный результат, и связь реакции (n, γ) с эффектом водорода объяснила ряд странных результатов, которые наблюдались ранее.

В ту же ночь 22 октября мы все собрались в доме Ферми (или Амальди, не помню точно). Здесь в ясном телеграфном стиле была написана первая работа по замедлению нейтронов, которая должна была стать началом новой серии писем в «Ricerca Scientifica» под названием «Влияние водородсодержащих веществ на радиоактивность, наведенную нейтронами».

Ферми доложил об удивительных свойствах медленных нейтронов директору института профессору Корбино. Корбино оживленно реагировал на сообщение Ферми и сказал: «Вы должны обязательно добиться патента на ваш метод получения медленных нейтронов». И сейчас не могу забыть искреннего,

сердечного, детского смеха Ферми при намеке Корбино на то, что работы, о которых шла речь, могли бы иметь практическое значение. Корбино же на общее веселье Ферми и его сотрудников довольно сухо заметил: «Вы молоды и ничего не понимаете!»

Конечно, Корбино был прав: этот патент, который был оформлен вначале в Италии, а затем и в других странах, оказался очень полезным для изобретателей после того (1950 г.), как замедление нейтронов стало широко использоваться.

Открытие замедляющего эффекта водорода вызвало необходимость решить ряд новых проблем, и скоро наряду с изучением радиоэлементов, образованных нейтронами, важную роль в работе стали играть уже исследования свойств самих нейтронов (замедление, рассеяние, поглощение и т. д.).

Результаты работ, выполненных в первые три месяца после открытия явления замедления нейтронов, достаточно подробно изложены в статье, представленной Резерфордом в «Proceedings of the Royal Society». В этой статье содержатся практически все основные идеи физики медленных нейтронов, за исключением, конечно, важнейшего вопроса о «группах нейтронов» и нейтронных резонансах, который, кстати, Ферми удалось полностью обосновать и разобрать через год. Как видно, темп работ был потрясающим! При этом в лаборатории никогда не ощущалось спешки и Ферми был всегда спокоен.

После открытия эффекта замедления систематически проводились и облучения урана (и тория) с парафином и без него. Однако загадка множественности обнаруженных активностей не была решена Ферми; для этого потребовалось открытие деления Ганом и Штрассманом (1939 г.). Сейчас мне кажется чудом, что Ферми с его глубиной и интуицией не сумел теоретически предугадать процесс деления.

Что же касается экспериментов с ураном, то группе Ферми в это время не повезло: деление могло быть открыто экспериментально в Риме в январе 1935 г., если бы не случайные обстоятельства. Несколько слов об этом. Среди многочисленных активностей, вызванных в уране и тории нейтронами, согласно Ферми, могли бы находиться и α-активности. Эти α-активные радиоэлементы с периодом больше нескольких секунд искались, но не были найдены. Тогда была рассмотрена возможность того, что при бомбардировке урана и тория медленными нейтронами α-частицы испускаются мгновенно, как это было найдено нами в боре. Аппаратура для наблюдения α-частиц была той же самой, которая использовалась для экспериментов с бором. Итак, образец из окиси урана бомбардировался в парафине медленными нейтронами; образец находился перед малой

импульсной ионизационной камерой, соединенной с линейным усилителем, способным регистрировать импульсы ионизации от α-частиц. Так как ожидалось, что искомые α-частицы имеют больший пробег, чем естественные α-частицы от урана, то для уменьшения фона последних перед урановым образцом была помещена алюминиевая фольга толщиной, эквивалентной 5 см воздуха. Именно эта фольга и помешала наблюдению больших импульсов ионизации, обусловленных осколками деления! Не раз в 1939 г. и позже сотрудники Ферми обсуждали случай со «зловредной» алюминиевой фольгой и задумывались над вопросом: «Допустим, что мы в 1935 г. наблюдали большие импульсы ионизации от урана; сумел бы Ферми понять явление, т. е. открыть деление?»

С. С. Герштейн
Институт физики высоких энергий, Протвино

Воспоминания и размышления о Бруно Понтекорво

Я пишу эти воспоминания — и передо мной как живой возникает Бруно Максимович с его неизменной улыбкой, юмором, интересом к людям, жаждой новых знаний, с его тактом и глубокой демократичностью, благодаря которой он совершенно одинаково мог говорить и с людьми самого высокого положения, и с рабочими из мастерских, с его нетерпимостью к любой фальши и особенно к профанации науки, с его готовностью оказать всяческую поддержку новым интересным экспериментальным исследованиям.

Бруно Максимович принадлежал к той замечательной плеяде физиков, трудами которых были заложены основы современной ядерной физики, ядерной энергетики и технологии, физики элементарных частиц.

Хорошо известно, что именно опыты, которые проводил молодой Понтекорво совместно с Амальди в группе Ферми, послужили толчком к открытию замедления нейтронов — эффекта, лежащего в основе работы современных ядерных реакторов, производства многих важных изотопов, сыгравшего (и играющего) важную роль в физических исследованиях.

Именно Понтекорво в 1946 г., когда были получены первые сведения о сравнительно большом времени жизни мюонов в веществе, предложил гипотезу об универсальном характере слабых взаимодействий — новой силы Природы, единственным известным проявлением которой до этого был радиоактивный β-распад. Именно Бруно явился отцом экспериментальной нейтринной физики, выдвинув в 1946 г. идею о возможности регистрации свободного нейтрино от ядерных реакторов и разработав для этой цели радиохимический (в частности так называемый хлор-аргонный) метод детектирования ядерных реакций, вызываемых нейтрино.

В своем знаменитом отчете лаборатории в Чок-Ривере в Канаде Бруно пророчески коснулся и других аспектов нейтринной физики, упомянув в качестве возможных источников нейтрино Солнце и ускорители. Эти идеи Бруно, как мне кажется, явились

отражением его человеческих качеств — необычайной научной смелости и широты. Действительно, в то время мало кто верил в осуществимость таких опытов. Даже Э. Ферми, как вспоминает Бруно, отнесся весьма прохладно к идее регистрации нейтрино, заинтересовавшись больше техникой пропорциональных счетчиков, развитой Понтекорво и применявшейся им в ряде исследований («Дон-Кихот не был героем Ферми», — замечал в этой связи Бруно).

Идеи и расчеты Бруно подтолкнули эксперимент. Когда была разработана техника больших сцинтилляторов (которой не существовало в 1946 г.), оказалось возможным прямое детектирование нейтрино, что и было осуществлено Райнесом и Коуэном в 1953–1956 гг. Хлор-аргонный метод был впоследствии развит Дэвисом. С помощью него было впервые установлено, что антинейтрино не тождественны нейтрино, и зарегистрировано нейтрино от Солнца.

В то время, когда Бруно выдвигал свое предложение о регистрации нейтрино, было неизвестно, что цепочка термоядерных реакций, происходящих в Солнце, может (хотя и с довольно малой вероятностью) приводить к образованию ядер ^{7}Be и ^{8}B, которые являются источниками довольно энергичных нейтрино, способных вызывать хлор-аргонную реакцию: $\nu + {}^{37}Cl \rightarrow {}^{37}Ar + e-$. Именно эти нейтрино и были зарегистрированы Дэвисом с помощью предложенного Бруно хлор-аргонного метода. Что же касается основного потока солнечных нейтрино, происходящих от слияния двух протонов в дейтерий с испусканием позитрона и нейтрино, то ввиду малости энергий этих нейтрино Бруно не видел в 1946 г. возможности их регистрации. Оказалось, однако, что предложенный им радиохимический метод годится и для этой цели[21].

Результаты экспериментов по регистрации солнечных нейтрино находятся сейчас в центре внимания физиков всего мира. Это связано с еще одной блестящей идеей Понтекорво. В 1957 г. он указал на возможность нейтринных осцилляций. Оказалось, что нейтринные осцилляции могут быть тесно связаны с великим объединением различных взаимодействий при сверхвысоких энергиях. Поиски нейтринных осцилляций уже много лет ведутся в различных лабораториях мира на реакторах, ускорителях, мезонных фабриках, составляя важную часть программы исследований. Однако, как указал Понтекорво, только солнечные нейтрино (вследствие огромного по сравнению с земными масштабами расстояния от источника) дают возможность продвинуть исследования в совершенно недоступную для земных экспериментов область малых значений

масс нейтрино. Именно таких значений масс нейтрино можно ожидать на основе моделей великого объединения. Поэтому когда в первых экспериментах по регистрации солнечных нейтрино было обнаружено уменьшение их потока в два-три раза по сравнению с расчетами, Понтекорво первый высказал мысль, что это может быть связано именно с нейтринными осцилляциями, переводящими электронное нейтрино в другие, «стерильные» состояния, не вызывающие ядерных реакций.

Сейчас, после замечательной работы С. Михеева и А. Смирнова, в которой было показано, что учет когерентного рассеяния нейтрино в веществе (рассмотренного Л. Вольфенштейном) может значительно усилить нейтринные осцилляции при малых разностях их масс и малом смешивании (и даже привести к полному переходу нейтрино в «стерильные» состояния), идея Б. Понтекорво является наиболее правдоподобным объяснением результатов галлиевого, хлор-аргонного и электронного (Камиоканде) экспериментов по детектированию солнечных нейтрино.

Подготавливаемые в нескольких лабораториях мира новые гигантские эксперименты позволят в недалеком будущем надежно проверить эту возможность. Так идеи Бруно прокладывают путь в физику следующего столетия, позволяя получить сведения о великом объединении сил природы. Это не единственный пример того, как идеи и эксперименты Бруно послужили началом ведущихся десятилетиями с возрастающей точностью экспериментов. К ним относятся, например, поиски распада $\mu \to e\gamma$ и определение массы электронного нейтрино по спектру β-распада трития, начатые Понтекорво почти полвека тому назад. Я не стану упоминать других блестящих работ Понтекорво. Мне хотелось только подчеркнуть здесь значение работ Понтекорво для физики XX и XXI веков.

Бруно приехал в Советский Союз в 1950 г., когда ему было 37 лет и он был в расцвете творческих сил. За время жизни в СССР Б. Понтекорво выполнил ряд блестящих исследований, включая прецизионные опыты по рассеянию π-мезонов на нуклонах, несохранению четности в μ-распаде, захвату мюонов в ^{3}He, проверке гипотезы о парном рождении странных частиц в нуклон-нуклонных столкновениях, которую он, кстати, высказал еще до появления схемы Гелл-Манна — Нишиджимы, и много других. Он высказал здесь свою знаменитую гипотезу о возможности нейтринных осцилляций и роли детектирования солнечных нейтрино для их обнаружения, указал на возможность проведения нейтринных исследований па ускорителях (в частности, для решения проблемы, тождественно мюонное

нейтрино электронному или нет). Понтекорво оказал неоценимое влияние на уровень исследований по физике элементарных частиц в нашей стране, установив очень высокие критерии, которым необходимо было так или иначе следовать, воспитал большую школу экспериментаторов и стимулировал многие теоретические работы. Постановка многих важных новых экспериментов у нас зачастую становилась реальностью благодаря активной поддержке, которую оказывал им Понтекорво.

Бруно Максимович принял деятельное участие в становлении Института физики высоких энергий (ИФВЭ, Протвино) и выработке программы его исследований. Будучи в течение многих лет председателем нейтринного совета при АН СССР, Бруно оказывал неоценимую поддержку многим экспериментальным исследованиям. Особый энтузиазм в последние годы у него вызывала программа исследований по нейтринной астрофизике, осуществляемая А. Е. Чудаковым и Г. Т. Зацепиным. Вместе с А. М. Марковым он старался поддержать ее на всех уровнях.

К сожалению, Бруно не смог сам реализовать свои наиболее смелые идеи:

— зарегистрировать антинейтрино от реакторов (что было сделано Ф. Райнесом и К. Коуэном в 1953–1956 гг. и за что Райнес получил в 1995 г. Нобелевскую премию);

— обнаружить нетождественность мюонного и электронного нейтрино (за что получили Нобелевскую премию Л. Ледерман, Дж. Штейнбергер и М. Шварц).

Ответ на вопрос, почему так получилось, очевиден, он целиком связан с условиями жизни и научной работы в тогдашнем Советском Союзе. Что касается проблемы двух нейтрино, то ее нельзя было решить в СССР из-за отсутствия соответствующего ускорителя, а о том, чтобы сделать предложение Понтекорво основой какого-либо международного эксперимента в ЦЕРНе или США с его участием, невозможно было в тогдашних условиях даже подумать. (Тем более что Бруно еще два десятилетия не выпускали из соцлагеря под фальшивым предлогом его безопасности.)

С детектированием реакторных антинейтрино было еще обиднее. Узнал я это совершенно случайно.

В 1956 г., когда я был аспирантом Л. Д. Ландау в Институте физических проблем, один из ведущих экспериментаторов этого института — В. П. Пешков — поручил своему аспиранту Медведеву подумать о постановке опыта по детектированию реакторных антинейтрино. Сам В. П. Пешков был тонким экспериментатором в области низких температур (он, в

частности, первым обнаружил второй звук в сверхтекучем гелии), но он к тому же был тогда еще каким-то большим начальником в Госкомитете по науке и технике и, по-видимому, имел доступ к действующим реакторам. Зная мой интерес к слабым взаимодействиям, Медведев обратился ко мне, и мы начали вместе обдумывать эксперимент. К этому времени уже было раскрыто пребывание Понтекорво в СССР, и когда Бруно появился в Физпроблемах, мы попросили его обсудить возможности эксперимента. Он охотно согласился. В обсуждении с ним мы поняли, насколько были наивны, полагая, что такой эксперимент можно сделать сравнительно небольшими силами. Бруно дал несколько полезных советов, особенно относительно разных фонов. Запомнилось мне, что он советовал помещать детектор под реактором, который тем самым будет служить некоторой защитой от космических лучей. В заключение разговора мы спросили его, почему он сам не поставит этот эксперимент. Бруно сначала уклонился от ответа. Но когда в ходе дискуссии мы еще раз спросили его об этом, он неохотно (как мне показалось, даже смущаясь) ответил, что его не допускают к реакторам. Я был тогда потрясен. Было несомненно, что, начав исследования в 1950 г., когда в СССР уже вовсю работали промышленные реакторы и строились новые, Понтекорво с его знаниями и мастерством мог бы первым зарегистрировать нейтрино (к тому же в это время появились новые методы регистрации, которых не было в 1946 г.). Эту непробиваемую стену не мог, по-видимому, преодолеть даже И. В. Курчатов, который с большим интересом относился к работе Понтекорво. Он, в частности, снабдил Бруно достаточным количеством ^{3}He для опыта по μ-захвату, а В. П. Пешков помог Бруно, произведя глубокую очистку ^{3}He от трития, наличие которого делало невозможным проведение опыта в диффузионной камере.

Происхождение подаренного ^{3}He было очевидно. Он представлял собой «отходы» от производства трития (материала для водородной бомбы), и в связи с этим количество используемого гелия было объявлено секретом и запрещено для разглашения при публикации результатов, хотя грамотный физик мог бы его легко вычислить, зная установку и условия опыта.

Для всех знавших Бруно было несомненным, что, работая на Западе, он мог бы добиться значительно большего и осуществить сам свои предложения. В связи с этим многие задавали вопрос: «А зачем (или почему) он переехал в СССР?» Одни высказывали предположение, что это было сделано по наивной вере многих преданных идее коммунизма иностранцев в то, что СССР — страна победившего социализма, строящая коммунистическое

общество. В то время, когда стало более или менее безопасно обсуждать такие вопросы, некоторые люди цинично называли это «глупостью». Другие, особенно недоброжелатели Бруно (а они, хоть и в небольшом количестве, у него были), придерживались версии, принятой тогда в Америке: был советским шпионом и бежал при угрозе разоблачения.

Лично я, несмотря на многолетнюю дружбу с Бруно, ни разу не решился задать ему этот вопрос, понимая, что ответ может быть весьма болезненным для него. Но под влиянием многих бесед с Бруно у меня сложилось вполне определенное мнение по этому вопросу. Приведу несколько примеров. Однажды на ученом совете ОИЯИ я оказался сидящим рядом с Бруно где-то в задних рядах. Делал доклад известный Фукс, бывший советский шпион, который после тюремного заключения в Англии переехал в ГДР и работал в Дрездене. Доклад показался мне не очень интересным (что-то о схемах Юнга). Бруно, однако, был очень возбужден. Видно было, что эта встреча произвела на него сильное впечатление и как-то связана с его собственной судьбой. «Вы знаете, — говорил мне шепотом Бруно, — Ферми был очень строг в оценке ученых. Но Фукса он причислял к звездам первой величины». Я думал, что, когда кончится заседание, Бруно подойдет к Фуксу, но он этого не сделал, и мы вместе вышли из Дома ученых. Бруно был взволнован. Он, по-видимому, переживал историю прошлых лет, накануне своего переезда (или, можно сказать, бегства) в СССР. «Мне было бы очень интересно прочитать мемуары Фукса, если он их напишет, — сказал Бруно. — Дело в том, что, когда Фукса арестовали, мы все были уверены, что это полицейская провокация против коммунистов, поскольку выяснилось, что Фукс был коммунистом. У нас и мысли не было, что Фукс был шпионом, и мы считали, что это провокация в духе эпохи маккартизма, захлестнувшего Америку и распространяющегося на Англию». Из этих слов Бруно становится совершенно ясно, чего он, коммунист с 1936 г., мог опасаться в Англии после ареста Фукса и почему он решился так круто изменить свою жизнь.

Возможно также, что немаловажную роль в его решении переехать в СССР могла сыграть перспектива работы в Дубне на самом большом в то время в мире ускорителе. Сооружение этого ускорителя держалось тогда в секрете, но спецслужбы, подготовившие и осуществившие переправку Понтекорво в СССР, могли ему об этом сообщить или по крайней мере намекнуть.

Бруно рассказывал мне, что вступил в подпольную компартию Италии в 1936 г. во время войны в Испании. Будучи демократом и свободно мыслящим молодым человеком, он, живя

в фашистской стране, ненавидел фашистский режим, а война в Испании угрожала его распространением. Коммунисты казались тогда многим наиболее решительными борцами с фашизмом. И это подтолкнуло к сближению с ними, как мы знаем, очень многих достойнейших людей во всем мире — и в Европе, и в Америке[22].

Вступив в компартию, Бруно принял коммунистическое учение за истинную науку и верно следовал ему, пока жизнь в СССР не разрушила постепенно его иллюзии одну за другой. Это был очень мучительный для него духовный процесс. Уже после перестройки, не помню точно, в 1991 или 1992 году, на общем собрании Академии наук Бруно подсел ко мне и сказал: «Я пишу сейчас свою автобиографию для итальянского издания. Я многое передумал. Я почти всю свою жизнь считал коммунизм наукой, но сейчас я вижу, что это не наука, а религия. Я считал Сахарова прекрасным, но наивным человеком, а сейчас вижу, что наивным был я сам».

Коммунизм как религия — это очень удачное определение Бруно. Оно объясняет многое в поведении и судьбе многих истинных коммунистов в СССР и за границей. Большинство истинных западных коммунистов, наиболее религиозно и преданно относившихся к СССР, были, безусловно, сторонниками коммунизма «с человеческим лицом», полагая, что они борются за счастье человечества. Но поскольку основной догмой «научного» коммунизма, в отличие от «утопического», было то, что этой цели можно добиться только с помощью диктатуры пролетариата, они вынуждены были оправдывать перед другими людьми и самими собой подавление свободы в СССР, полагая, что это временное явление, связанное с переходным периодом, и совершенно не представляя масштабов творившихся зверств и преступлений, не понимая, что в СССР существовала не диктатура пролетариата, а диктатура преступной верхушки партии (религия не допускает сомнений). Помню, как во времена XXII съезда КПСС, когда происходило дальнейшее (далеко не полное) разоблачение культа Сталина, один из физиков в Дубне, недовольный этим, безжалостно бросил в лицо Бруно фразу: «А неужели иностранные коммунисты не знали обо всем этом раньше?» «Да, — ответил Бруно, — в тридцатых годах об этом твердили все буржуазные газеты, но мы считали, что это ложь. А у тех коммунистов, которые поверили газетам, был плохой конец — они перешли к фашистам». Во время, когда кипели споры о культе личности Сталина, Бруно старался не поддаваться безоговорочно общим настроениям и сохранять объективность. Так, он оправдывал заключение советско-германского пакта

1939 г. (о его секретных приложениях мы могли тогда только догадываться по произошедшему сразу же после этого разделу Польши и присоединению Прибалтики). «Вы не жили за границей и не знаете, — говорил Бруно, — все буржуазные газеты писали о том, что нужно стравить Гитлера со Сталиным, чтобы они уничтожили друг друга». Когда после очередного спора мы остались с ним вдвоем, он добавил: «Правда, не надо было Сталину присылать приветственную телеграмму Гитлеру после раздела Польши. Эта телеграмма очень удивила нас, коммунистов, и внесла сомнения в наши ряды».

Бруно тогда полагал также, что репрессии тридцатых годов были результатом политической внутрипартийной борьбы. Мне пришлось долго рассказывать ему о разных фактах нашей истории: об ужасах коллективизации, голоде на Украине (о чем я знал от очевидцев), о Ленинградском деле, о деле врачей, о трагической судьбе семьи Аллилуевых и моей собственной и многое, многое другое. Бруно с доверием относился к моим рассказам, потому что я, будучи сыном репрессированных родителей и не являясь членом партии, тем не менее короткое время разделял, как и многие, иллюзию о восстановлении ленинских норм жизни и возможности построения социализма с человеческим лицом, не понимая, что Сталин был в действительности порождением ленинской доктрины. Началом конца этих иллюзий послужил разгром парторганизации ИТЭФ в 1956 г. (почти сразу же после XX съезда) и судьба Ю. Орлова, который всегда был и остается одним из самых умных, честных и мужественных людей, встретившихся когда-либо мне в жизни. Эту историю мы также много обсуждали с Бруно, но ясное понимание происходящего пришло только позже.

Будучи в 1989 г. впервые в Италии, я познакомился с молодым физиком из Римского университета. Он рассказал мне, что во времена своего студенчества верил в коммунизм и преклонялся перед СССР. «К счастью, — сказал он, — мой отец, будучи фармацевтом, прописал мне хорошее лекарство. Он купил мне туристическую путевку в СССР, и я вылечился». «При этом, — добавил он, — процесс излечения начался у меня еще в московском аэропорту». К сожалению, ни Бруно, ни тысячи других верующих не имели возможности принять подобное лекарство.

В связи с этим я хочу рассказать об одном выдающемся человеке, итальянском коммунисте, имя которого мало кому известно в нашей стране (кроме старых авиационных специалистов) и судьбу которого, еще более трагичную, чем у него самого, Бруно очень переживал. Речь идет о Роберто Оросе

ди Бартини. В 1963 г. меня вызвал директор ЛТФ Н. Н. Боголюбов и попросил разобрать статью, которая была отвергнута в «ЖЭТФ» с весьма обидной рецензией. «Эту работу, — сказал Н. Н., — дал мне М. В. Келдыш, хорошо знакомый с ее автором по работе в авиационной и космической промышленности. Он просил посмотреть, нельзя ли ее все-таки опубликовать, исправив что-нибудь. У автора тяжелая судьба. Он молодым приехал в Советский Союз, имел большие заслуги в авиации, в тридцатые годы посажен в тюрьму, а сейчас снова активно работает. Посмотрите, пожалуйста, эту статью. Может быть, можно ее подправить и она все-таки подойдет, например, для вновь открывшегося журнала „Ядерная физика“. В крайнем случае я сам представлю ее в „Доклады АН“».

Я начал изучать статью, полный сочувствия к ее автору. Статья начиналась так: «Рассмотрим тотальный и поэтому уникальный экземпляр А». Только после долгих усилий мне удалось понять, что под экземпляром А автор подразумевает всю нашу Вселенную. Правильно, она уникальна. Далее автор предполагает, что экземпляр А может реализовываться в пространстве-времени нескольких измерений (не обязательно четырех) и существует определенная вероятность перехода от одного числа измерений к другому. Такая гипотеза в настоящее время, когда произошел ренессанс теорий типа Калуцы — Клейна и рассматриваются пространства довольно большого числа измерений с их компактификацией, вполне могла быть принята. Но дело происходило в начале шестидесятых, и тогда она, безусловно, выглядела совершенно дикой для рецензентов. Тем не менее я считал, что автор вправе ее принять (сказывалось мое сочувствие к нему). Развивая далее эту гипотезу, автор приходил к заключению, что наиболее вероятным для Вселенной является пространство шести измерений, и из «геометрических» соображений получал число, близкое к удвоенной постоянной тонкой структуры 1/137. Подправив это число в соответствии с экспериментальными данными и приняв за эталон боровский радиус, автор в «потрясающем» согласии с опытом вычислял комптоновскую длину и классический радиус электрона. Это был, конечно, нонсенс, так как известно, что эти величины по своему определению представляют боровский радиус, умноженный соответственно на первую и вторую степень постоянной тонкой структуры. В статье содержалось далее некоторое выражение для гравитационной постоянной, которое можно было рассматривать как эмпирическое.

Для меня было ясно, что ни один физический журнал не примет эту статью ни по ее физическому содержанию, ни по

языку, которым она изложена. Я решил ее переделать, изложив так, чтобы было понятно, что утверждает автор, и убрав «согласие» с экспериментальными данными, получающееся на основе определений величин. Подготовив новый, «урезанный» текст, я созвонился с автором, чтобы согласовать его. Бартини пригласил меня к себе домой на Кутузовский проспект. Приехав к нему, я увидел обаятельного красивого человека с удивительно обходительной и приятной манерой общения (Бруно рассказывал мне потом, что Бартини происходил из знатной аристократической семьи, с которой порвал, став коммунистом, несмотря на то, что горячо любивший его отец — барон и бывший губернатор Фиуме — был человеком довольно широких и демократических взглядов).

С первых минут я понял, что имею дело с необычайно одаренным во всех отношениях человеком. На стенах висели замечательные картины, а на столах стояли небольшие скульптуры и модели каких-то фантастических самолетов. Все, как я узнал, было выполнено хозяином дома. Бартини очень мягко выразил разочарование моим текстом. Он считал, что я урезал многие его важные мысли, и (несмотря на мои доводы, что в таком виде статью не примет ни один журнал) отстаивал буквально каждое слово. При этом он, обосновывая свои идеи, указывал соответствующие места в книге Эддингтона и других подобных книгах. Я не мог его убедить, что для редакций это не будет служить аргументом. Наши споры часто выходили далеко за рамки обсуждаемой статьи и касались философских проблем (я был поражен знаниями автора в области античной, классической и марксистской философии). Так провели мы, упорно трудясь, несколько вечеров.

Бартини, как я понял, работал в Подлипках в известном всем секретном КБ. Однако главным делом своей жизни он считал в тот момент именно обсуждаемую работу и был в отчаянии, что не может ее опубликовать. «Мое „ремесло“ (так называл он свой труд в КБ) идет весьма успешно, но главное — это работа, которую мы обсуждаем», — говорил он. В перерывах между обсуждениями, за чаем, который мы пили, не отходя от письменного стола, я старался навести разговор на тему работы Бартини в заключении. Кое-что об этом я слышал от Ю. Б. Румера. Бартини охотно рассказывал: «У нас было три отдела: Туполева, мой и Румера. Румер занимался у нас динамикой — фляттером, и мы были друзьями (вот откуда, подумал я, Бартини приобрел интерес к многомерной Вселенной. — *С. Г.*). В моем отделе работало много известных теперь людей, например Королев. Будущий директор ЦАГИ у нас был чертежником».

Я не помню сейчас, рассказал ли мне сам Бартини один интересный эпизод из своей жизни или я услышал его от Бруно. Дело в том, что в «шарашку» неоднократно приезжал сам Берия и, собирая начальников отделов, обсуждал с ними за чаем ход работ и давал новые задания. Видя благожелательное отношение Берии, заключенный Бартини решился обратиться к нему со словами: «Вы знаете, Лаврентий Павлович, ведь я ни в чем не виноват». «Канэчно, знаю, — ответил Берия. — Был бы виноват — расстреляли бы. Ничего, сделаешь самолет — получишь Сталинскую премию первой степени и выйдешь на свободу». Сохранивший еще, несмотря ни на что, свою наивность, Бартини недоумевал, какая связь может существовать между самолетом и теми ужасными обвинениями в шпионаже и других грехах, за которые он был осужден. Ведь, будучи на свободе, он мог бы работать быстрее и лучше, создавая свою машину.

Когда более-менее урезанный текст статьи был согласован и послан в «ЯФ», я попросил Я. А. Смородинского направить ее на рецензию мне. Я написал вполне объективную рецензию, указал на допустимость выдвинутых гипотез (несмотря на необычность) и рекомендовал опубликовать статью. Одновременно я просил Я. А. в случае отказа от публикации прислать ответ сначала мне, так как я боялся, что Бартини не переживет отказа, и помнил обещание Н. Н. Боголюбова представить статью в печать. Когда, несмотря на мою рецензию, редакция «ЯФ» отклонила статью Бартини, я пошел с ней к Николаю Николаевичу. Он задумался: «Видите ли, если эту статью представлю я, теоретик, может выйти скандал. Лучше, если это сделает экспериментатор, который сможет потом сослаться, что он не специалист. Вот, например, Бруно Максимович как раз недавно избран академиком. Он теперь имеет право сам представить статью в „ДАН“».

Я пошел к Бруно. «Не хотелось бы, конечно, мне в качестве первой статьи представлять эту, — сказал он, — но что поделаешь. Бартини надо спасти. Иначе он сойдет с ума». И Бруно представил статью в несколько исправленном виде. (Когда она была опубликована в «ДАН», Бруно удивился, что Бартини подписался своим полным именем, сохранив приставку «ди».) Бруно очень переживал судьбу Бартини: «Он попал в Союз совсем молодым человеком. В Италии, даже в компартии, о нем никто не знает, может быть, его помнят только несколько старых людей, например сенатор Терначини».

После публикации статьи Бартини Бруно имел-таки некоторые неприятности. Во-первых, он получил письма сразу от нескольких «сумасшедших», упрекавших его в том, что он представил украденные у них идеи. Во-вторых, ему позвонили из

Отдела науки ЦК КПСС и стали интересоваться, не является ли эта статья розыгрышем. Именно с такой жалобой обратились в указанный орган некоторые математики, посчитавшие оскорблением помещать розыгрыш в журнале, где они печатают свои гениальные работы. (В том, что статья — розыгрыш, начиная с первой фразы, которую я привел выше, они не сомневались. Вымышленной показалась им и необычная фамилия автора, что также было принято за какой-то непонятный элемент розыгрыша.) В разговоре с инструктором ЦК Бруно (как делал он обычно в разговоре с остановившим его инспектором ГАИ) перешел на весьма ломаный русский язык и с возмущением отверг предположение, что Роберто Орос ди Бартини — вымышленный человек. «Обратитесь в Оборонный отдел ЦК. Там о нем должны знать. Удивительно, что вы не знаете», — сказал он. На том разговор и закончился. Впоследствии я увидел работу Бартини в сборнике по гравитации, изданном К. П. Станюковичем.

Где-то в середине шестидесятых годов я увидел в «Неделе» статью о Бартини. В ней, в частности, говорилось, что, представляя Бартини научно-техническому совету, С. П. Королев назвал его своим учителем, а итальянская компартия наградила его памятной медалью. Появился указ о награждении Р. Бартини орденом Ленина. Ученики и близкие сотрудники Бартини собирались при поддержке министра авиационной промышленности Дементьева создать музей Бартини. Совершенно случайно мне попалась книжечка И. Чутко «Красные самолеты», в которой люди, близко знавшие и любившие Бартини, излагают историю его жизни и работы. Хочется привести слова генерального конструктора академика О. К. Антонова из предисловия к этой книге: «Роберто Бартини был человек несокрушимой убежденности, человек кристальной души, пламенный интернационалист…Твердая убежденность коммуниста в необходимости личного участия в великой борьбе за построение светлого будущего человечества была в течение всей жизни его путеводной звездой». К сожалению, в неплохой книге Я. Голованова о С. П. Королеве только вскользь говорится о Бартини, хотя Королев работал в отделе Бартини и называл его впоследствии своим учителем. Видно, многолетняя привычка писать полуправду сработала и здесь. Ясно ведь, что образ С. П. Королева нисколько бы не потускнел, а только выиграл, если бы было рассказано о настоящем положении Бартини в «шараге» и о том чувстве благодарности, которое, по-видимому, Сергей Павлович к нему впоследствии испытывал.

Мир тесен, и нечто новое о жизни Р. Бартини я узнал, если можно так выразиться, с другого конца. Оказалось, что сын Р.

Бартини — Гера Бартини — был физиком и преподавал в Химико-технологическом институте. Именно в его группе учился Леонид Иванович Пономарев, и именно Гера Бартини рекомендовал Пономареву перейти на физический факультет МРУ. Попав как-то в компанию друзей из группы Пономарева по Химико-технологическому институту, я поразился, с какой теплотой и уважением они вспоминали Геру Бартини. Сам Гера к тому времени погиб в горах. На Кавказе, в альплагере, я познакомился с альпинистом из Челябинска, который хорошо знал обстоятельства трагедии: Гера погиб, пытаясь в одиночку проложить путь для спасения группы, попавшей в тяжелую ситуацию.

Я прошу прощения у читателей за то, что в своих воспоминаниях о Понтекорво я так много места уделил истории Р. Бартини. Сделал я это потому, что судьба Бартини перекликается с судьбой Б. Понтекорво и многих других идеалистов, боровшихся за «светлое будущее человечества», а сам Бруно, несомненно, одобрил бы рассказ о ней.

Надо сказать, что Бруно искренне любил физику и радовался ее достижениям, кем бы они ни были сделаны. Он с энтузиазмом мог говорить о чужих экспериментах, восхищаться новой примененной методикой или остроумной постановкой опыта. Помню, как высоко он отзывался об экспериментах Ю. Д. Прокошкина, П. Е. Спивака, Ф. Л. Шапиро, В. М. Лобашова и многих других. Он увлеченно рассказывал о своих коллегах по экспериментам, отмечая их выдумку и вклад в успех опыта, с большой теплотой говорил о совместной работе с теоретиками Л. Б. Окунем, В. Н. Грибовым и другими. Я заметил, что Бруно особенно часто нравились талантливые независимые люди, за которыми шла слава, что они «неуправляемые» и непростые в общении. Он очень ценил оригинальность мышления (в частности, подчеркивал ее у Б. С. Неганова). Нельзя сказать, что он не замечал мелких недостатков и слабостей людей, наоборот, он их прекрасно видел и любил над ними подшучивать. Но Бруно был совершенно непримирим в критике, когда видел недостатки эксперимента, отсутствие контрольных измерений, «легкомысленное» отношение к математической обработке результатов и особенно какие-нибудь подтасовки. Здесь он поступал невзирая на лица.

Такая позиция Бруно иногда создавала ему новых недоброжелателей и даже врагов. В этом отношении для меня особенно болезненной была ссора, возникшая между Бруно и Г. Н. Флеровым. Поддержав в свое время С. М. Поликанова в его споре с Г. Н. Флеровым по поводу недостаточной достоверности

открытого элемента и содействовав переходу С. М. Поликанова в ЛЯП, Бруно навлек на себя враждебное отношение Г. Н. Флерова. К сожалению, Г. Н. в духе того времени использовал не только научные, но и политические аргументы. Бруно с возмущением показывал мне стенограмму собрания по поводу дела С. М. Поликанова, эмигрировавшего из СССР. Сам Бруно был в это время в отъезде, на собрании не присутствовал. Нападки Г. Н. на Бруно, содержащиеся в стенограмме, напоминали выступления в духе 37-го года. Я очень сожалел об этой вражде, так как, несмотря на многие известные недостатки и недостойный поступок, совершенный Г. Н. на этом собрании (о чем я ему и сказал), Флеров по-человечески нравился мне своей незаурядностью, талантом и целеустремленностью. Я пытался как-то смягчить существующую вражду. Но мне это не удалось.

Железным правилом для Бруно была объективность оценок. Оказавшись посередине разных конкурирующих групп и школ, Бруно ни разу, насколько я знаю, не нарушил этого правила, невзирая на свои научные и человеческие симпатии. Это также навлекало на него недовольство с разных сторон. Помню, как-то раз Бруно пожаловался мне, что на каком-то совещании по оргвопросам К. А. Тер-Мартиросян назвал его «соглашателем». «Это меня-то, члена подпольной компартии с 1936 года, — говорил Бруно, — он назвал коллаборационистом». Я понимал, как это вышедшее уже к тому времени из политического употребления слово могло подействовать на коммуниста с 36-го года, когда в качестве главной задачи компартиям ставилась борьба с «соглашателями». Эта история, однако, ни в коей мере не повлияла на хорошее отношение Бруно к Карену Аветовичу, которого он ценил как физика и очень доброго прямого человека, готового биться с любой несправедливостью. «Он благородный Дон-Кихот, который иногда может наброситься даже на ветряные мельницы», — говорил Бруно.

Особенные трудности из-за своего желания быть объективным Бруно испытывал при выборах в Академию наук. Он часто советовался, обсуждая научные заслуги разных кандидатов. Я был тогда весьма далек от академической кухни, поэтому удивился, когда он перед одними из выборов сказал: «Я очень хочу, чтобы в академию избрали X, он для меня первый кандидат, но я не могу голосовать против Y, потому что Y — прекрасный, оригинальный физик». Я ответил, что это, по-моему, вполне естественно. «Да, — сказал Бруно, — но когда одни люди придерживаются объективных оценок, а другие голосуют только за „своих“, вы неизбежно проигрываете. Тем не менее я не могу поступать иначе». Поэтому Бруно всегда пытался найти

компромисс. Одним из средств этого являлась академическая «игра» — пробное, неофициальное голосование в отделении, позволяющее выделить наиболее приемлемых для большинства членов отделения кандидатов и затем добиться соглашения между разными группами об их избрании. Это позволяло, не разбрасывая голоса, добиться избрания намеченных кандидатов уже при официальном голосовании (которое по уставу могло проводиться не более чем в три тура, иначе пропадали выделенные отделению места). Такой способ мог работать, конечно, только в том случае, когда люди, проголосовавшие определенным образом при окончательной «игре», не меняли своей позиции при официальном голосовании. Одним словом, это должно было быть «джентльменской» игрой. Однажды Бруно привел мне слова И. М. Франка: «Какое все-таки у нас порядочное отделение. Как договорились, так и проголосовали». Я удивился этим словам, так как не понимал, как же может быть иначе. Однако позднее оказалось, что бывает и по-другому. И это настолько потрясло Бруно, что он серьезно решил перейти из Отделения ядерной физики в Отделение общей физики (и даже начал вести об этом переговоры). К счастью, его убедили не делать этого. Позиция Бруно на выборах сводилась к следующему: он считал, что если какая-то группа непременно хочет провести своего кандидата, блокируя для этого избрание других, более, по мнению Бруно, достойных, то следует идти на такой компромисс, чтобы самые достойные также оказались в числе избранных. Однако, помня результаты потрясшей его до этого «игры», он потребовал однажды в критической ситуации, чтобы голосование проводилось, по существу, открытым образом (открытыми бюллетенями). Это свидетельствовало о том, что Бруно перестал быть наивным, как раньше. Находились люди, которые осуждали его за это. Но жизнь показала, что Понтекорво был прав.

Бруно запомнился мне исключительно разносторонним человеком. Одним из увлечений его был спорт. Приехав в Дубну, он начал широко культивировать теннис (тогда это еще не вошло в моду). Он с увлечением рассказывал о теннисных турнирах своей молодости, удивляясь, что мне не знакомы имена тогдашних кумиров. Он, пожалуй, первым у нас начал заниматься подводным плаванием, объединившись с А. Б. Мигдалом и его компанией. (А. Б. был одним из самых близких его друзей, но Бруно любил и его товарищей. Особенно тепло он рассказывал о Суетине — блестящем инженере, изобретателе и талантливом человеке.) Однажды Бруно чуть не явился причиной тревоги по Черноморскому флоту, так как, вылезши из моря в гидрокостюме

и маске (невиданных тогда у нас), да еще при его иностранном акценте, был принят пограничниками за шпиона, которого высадили с подводной лодки.

Бруно был превосходным велосипедистом. Как-то раз он продемонстрировал мне свою быструю езду, сидя спиной к рулю. Велосипед он не оставлял, даже будучи уже больным. Упав с него, он в 1990 г. сломал шейку бедра. К счастью, советник посольства Италии по науке Г. Пираджино помог быстро отправить Бруно для операции в Италию, где был врач, знакомый с болезнью Бруно и знавший, какую анестезию для него можно использовать. Случилось так, что я выехал в Италию неделю спустя и сумел навестить Бруно в римском госпитале после операции. Он уже поправлялся и был рад, что у него не было его болезненной «трясучки».

У Бруно, мне кажется, была любовь к риску и приключениям. Как в науке, так и в обычной жизни. Но если в науке его риск был всегда научно обоснован, то в спорте и путешествиях он нередко угрожал его здоровью и самой жизни. Когда мы как-то спускались на лыжах со склонов Арагаца в Армении, Бруно заметил: «Раньше я делал это значительно быстрее, не думая о том, какой может быть обрыв за перегибом склона. Но, сломав несколько раз ноги, я стал осторожнее». Был случай, когда лодка, на которой ехал Бруно с Долгошеиным и другими (кажется, это было вблизи Курил), перевернулась в нескольких километрах от берега и всем пришлось добираться вплавь. Несчастья иногда подстерегали Бруно, что называется, на ровном месте. Однажды, желая прогуляться вечером по замерзшей Волге со своей женой Марианной, к которой он относился с трогательным вниманием и заботой, Бруно провалился по плечи в полынью, однако сумел задержаться и выбраться на лед. Позже, когда он уже был нездоров, в центре Москвы его так стукнул какой-то, по-видимому, маньяк, что Бруно упал и довольно сильно ушибся. Мы очень переживали все подобные случаи.

Бруно увлекался кино. Во многом это было связано с его братом Джилло Понтекорво, которого он очень любил. После каждого кинофестиваля в Москве Бруно был переполнен впечатлениями, рассказывая не только о картинах, но и о разных забавных ситуациях, вроде такой: одна из известнейших итальянских кинозвезд недвусмысленно спрашивала приглашенного на фестиваль Ю. Гагарина: «Как вы думаете, можно ли достичь звезды?» «Нет, — отвечал Гагарин, — сейчас техника этого не позволяет». «Подумайте, может быть, все-таки это возможно?» «Нет», — упорно отвечал Гагарин, прекрасно понимая намек.

Бруно был очень рад, что Д. Понтекорво удалось сделать замечательный фильм «Капо». Он рассказывал о борьбе, которая разгорелась по вопросу приобретения этого фильма для советского кинопроката. Фурцева как будто была согласна. Но возражал кто-то из советских киновельмож, ссылаясь на то, что у одного из героев фильма — русского солдата — грубое лицо. «А по-моему, оно вовсе не грубое, — говорил Бруно, рассказывая содержание фильма, — сквозь эту внешнюю грубость ясно проглядывают сила и ум». Самому Бруно нравились такие люди. Конечно же, все эти возражения были просто предлогом. Кинофильм так и не купили.

Понтекорво, конечно, очень тосковал по Италии. Но эта тоска была запрятана у него очень глубоко и только иногда прорывалась в каких-нибудь незначительных проявлениях. Например, когда мы с ним ехали через Тбилиси на конференцию в Ереван, он попросил: «Давайте заедем на базар. Там продают домашний сыр, который так похож на итальянский». Бруно вообще любил Кавказ: Армению и особенно Грузию. Что-то в поведении людей напоминало ему Италию. У него были друзья среди элиты грузинской интеллигенции.

Бруно научился готовить спагетти и соусы к ним со всеми тонкостями итальянской кухни. Помню, однажды он пригласил меня, А. Логунова и А. Тавхелидзе на ужин, и мы убедились, насколько превосходно он это делал. Было очень вкусно (особенно если запивать тосканским вином кьянти).

Впервые Бруно выпустили в Италию, кажется, в 1979 г. после настойчивых представлений общества «Италия — СССР». Меня к тому времени не было в Дубне, и я только от друзей узнавал, с какими трудностями «пробивалась» поездка. То одна, то другая инстанция вычеркивала Бруно из списков делегации. В конце концов инстанции разрешили поездку Бруно, опасаясь назревающего скандала.

Почему не выпускали Бруно, довольно ясно. Потому же, почему не выпускали П. Л. Капицу, Л. Д. Ландау и многих других. Мой знакомый случайно присутствовал при разговоре двух чиновников. Один из них объяснял другому, почему нельзя выпускать П. Л. Капицу: «У него в Англии дом и счет в банке. Ну подумай, сам бы ты вернулся, если бы у тебя за границей был дом и счет в банке?» Эти люди, проповедуя на словах коммунистические идеалы и строго соблюдая коммунистические (религиозные) обряды, сами уже давно в них не верили. Они крепко держались только за свои места и привилегии, боясь в случае чего их потерять. Им недоступно было понимание, что они говорят о великом ученом и русском патриоте, что такие люди,

как П. Л. Капица, Л. Д. Ландау, Б. М. Понтекорво, не могут оставить своих учеников и созданные ими школы. Эти бюрократы нанесли колоссальный вред нашей науке, лишив крупнейших ученых возможности общаться с людьми их уровня за границей. Можно только удивляться тому, что несмотря на усилия чиновников советская физика добилась замечательных успехов. Но эти успехи могли бы быть значительно большими, если бы ей не мешали подобного рода приспособленцы. Сущность многих из них обнажила перестройка, когда некоторые люди, входившие в высшие эшелоны власти, в Политбюро ЦК КПСС, в верхушку КГБ и вдохновенно прославлявшие очередного генсека, начали выискивать у себя репрессированных родственников и говорить, как мучила их советская власть и что они давно не верили в коммунистический режим. Как же могли эти неверующие циничные попы коммунистической религии поверить, что среди ученых достаточно много «чудаков», которые имеют принципы? Поэтому, несмотря на внешние знаки уважения, они никогда не доверяли Понтекорво. К тому же у чиновников возникло подозрение: а не еврей ли Понтекорво? (Когда Бруно узнал о таком предположении, он сказал: «Я из католической семьи», подчеркнув, что в Италии (в отличие от страны «реального» социализма) людей различали только по религии, а не по расовым или этническим признакам.) Поэтому в соцстраны — пожалуйста. Оттуда не убежишь. Но перед поездкой изволь прослушать инструктаж, как надо вести себя за границей.

Мы с Бруно оказались на таком инструктаже в Госкомитете по атомной энергии перед поездкой в Венгрию. Интеллигентного вида кагэбист в очках с золотой оправой (говорили, что он в генеральских чинах) поучал нас: «Две бутылки водки можете с собой взять. Но больше — ни-ни. Вот у нас был случай. Один уважаемый академик, назовем его Иван Иванович, непременно хотел взять с собой ящик водки, говоря, что он за границей просто без этого не может обойтись. Нет, сказали мы, уважаемый Иван Иванович, этого делать нельзя. И он послушался».

И все это выслушивать в течение часа! Потом нам надо было ехать в ГКНТ и там тоже знакомиться с подобными инструкциями. Чувствовалось, что Бруно весь кипел, но сдерживал себя и даже успокаивал меня, говоря, что раньше было еще хуже: «Вот перед Рочестерской конференцией в Киеве в 1959 г. дубненский режимщик на общем инструктаже вообще произнес: „К сожалению, контактов избежать не удастся“. Это было встречено общим смехом. Ему стали объяснять, что конференции собирают как раз для научных контактов. Теперь он всюду говорит, что он „за контакты“[23]. Я думаю, — добавил Бруно, — что поездки за

границу уже не смогут отменить» (дело происходило во время очередного обострения международной ситуации, и „контакты“ ограничивали). Посмотрите, какой возник аппарат чиновников, живущих за счет этого. Они не могут лишить себя работы».

Бруно несколько раз ездил в Венгрию на прекрасные конференции по слабым взаимодействиям и нейтрино, устраиваемые Д. Марксом. Особенно мне запомнилась конференция 1972 г. На ней были Р. Фейнман, Т. Д. Ли, В. Вайскопф и многие другие выдающиеся физики. Бруно и Фейнман, в качестве почетных участников, посадили по дереву. На конференциях в Венгрии я увидел, с каким благоговением и любовью относились к Бруно итальянские физики. Сам он также с восхищением рассказывал мне о многих из них, часто вспоминал своих друзей по совместной работе с Ферми, переживал их успехи и неудачи. Из нового поколения ему особенно нравился Карло Руббиа, которого он ценил как талантливейшего и исключительно смелого физика; ему импонировала даже бравада, свойственная Руббиа. Сам Бруно также любил пошутить. Когда после награждения его медалью Этвеша за работы по физике нейтрино одна журналистка спросила: «Есть надежда, что нейтрино будет когда-нибудь приносить пользу людям?», Бруно ответил: «Почему будет? Некоторым оно уже сейчас приносит».

Мы были рады за Бруно, когда он смог свободно ездить в Италию и встречаться с родными, друзьями и коллегами. Его очень тронуло, что университет Феррары (один из старейших в Италии) избрал его почетным профессором, и Бруно с большой тщательностью готовил свою вступительную лекцию.

Пожив в России, Понтекорво очень полюбил ее просторы и ее людей. Ему нравилась русская кухня (он говорил, что для него она лучше французской). Бруно полюбил открытость, широту и доброту русского характера. Личность Бруно, его обаяние и демократизм притягивали самых разных людей: его любили врачи в больницах, механики в лабораториях, официантки в академической столовой и в Доме ученых. Вокруг него было много искренне любивших и почитавших его людей. Когда мы с ним проезжали как-то по Каменному мосту, он сказал, глядя с него на Кремлевский ансамбль: «Я побывал во многих городах мира, поверьте, вид отсюда самый прекрасный из всех, которые я когда-нибудь видел».

Будучи полиглотом, Бруно восхищался русским языком и прекрасно его чувствовал (хотя и говорил с акцентом). Он вспоминал, что при освоении русского языка ему большую помощь оказала Ирина Григорьевна[24], печатавшая и правившая его статьи. Он всегда относился к ней с чувством благодарности и

большого уважения. Забавно, что Бруно долго не мог понять двойного отрицания, существующего в русском языке. И совсем уже был поражен, когда Мигдал привел ему пример тройного: «Нельзя не вспомнить без улыбки». Я долго растолковывал ему эту фразу, и в конце концов он восхитился этим оборотом.

Бруно часто с большим пиететом вспоминал своего учителя Э. Ферми и всю его римскую группу. Рассказывал о Э. Майоране, которого сам Э. Ферми считал гениальным физиком, о его неопубликованных замечаниях, о его загадочной судьбе. С большой тщательностью он готовил издание собрания трудов Э. Ферми на русском языке. Многое из того, что рассказывал мне Бруно о Э. Ферми, вошло в примечания, сделанные им к статьям Ферми в этом превосходном сборнике, и в книгу о Ферми, написанную Бруно. Поэтому я ограничусь только двумя замечаниями.

Однажды, когда я пришел к Бруно обсудить свои расчеты, связанные с диффузией мезоатомов водорода, он воскликнул: «Так это же теория возраста Ферми! Вы знаете, почему она так называется?» Я думал, что это связано с жизнью нейтрона после его появления. «Совсем нет. Есть известная итальянская шутка: „Из порта отправляется трехтрубный пароход, водоизмещением столько-то тонн с таким-то количеством пассажиров. Спрашивается, каков возраст капитана?“ Вот откуда это название». Далее Бруно рассказывал: «Ферми применил теорию возраста, создавая теорию ядерного реактора. В это же время Е. Вигнер писал для этой цели интегродифференциальные уравнения. Э. Ферми в своем кругу посмеивался над этим: „Бедный, как он мучается, решая их“. Простой же физический подход Э. Ферми позволил ему наглядно и с достаточной точностью получить необходимый результат». «Это не значит, что Э. Ферми плохо владел математическим аппаратом, — добавил Бруно, — он прекрасно им владел и имел чисто математические работы. Просто он считал, что для рассмотрения конкретной физической задачи надо использовать адекватную этой задаче математику, не переусложняя ее наукообразием и „строгостью“».

Вот перед фон Нейманом Э. Ферми преклонялся. Один из близких друзей Э. Ферми в Америке (скорее инженер, чем физик) рассказал Бруно, что на его вопрос о фон Неймане Ферми ответил: «А как ты думаешь обо мне? Так знай, он настолько же умнее меня, насколько я — тебя». (Бруно сказал, что это не было обидно для рассказывающего, так как они с Ферми были друзьями и разница между ними обоим была хорошо понятна.)

Другой интересный эпизод был связан с самим Бруно. Он начал свою работу в лаборатории Ферми с исследований по

классической спектроскопии, но интересы его, конечно, были устремлены к ядерной физике. «Однажды я спросил Ферми, — рассказывал Бруно, — нельзя ли попытаться наблюдать резонансное рассеяние γ-квантов в ядерных переходах? Ферми задумался, ушел в другую комнату и, вернувшись минут через десять, сказал, что нельзя, так как существует отдача ядра». Я тогда пошутил: «Жаль, что Ферми пробыл в другой комнате так недолго. Ведь он занимался до этого молекулами и кристаллами и даже написал на эту тему монографию. Подумай он дольше, он мог бы додуматься и до эффекта Мессбауэра. Вот была бы еще одна работа, достойная Нобелевской премии». Мы несколько раз обсуждали с Бруно вопрос, сколько работ Э. Ферми могли бы быть достойны Нобелевской премии, и насчитали пять или шесть.

В связи с этим рассказом Бруно мне хотелось бы привести почти аналогичную историю. В 1962 г. И. Я. Померанчук, рассказывая о Рочестерской конференции в Женеве (И. Я. выезжал тогда за границу в первый и последний раз), упомянул, что к нему подходил Хоутерманс[25].

«Ну и что же он вам сказал?» — спросили мы. «Он сказал: „Чук, мы были идиоты. Мы просмотрели эффект Мессбауэра“». Дело в том, что Хоутерманс с Померанчуком рассматривали в Харькове рассеяние нейтронов в кристалле и знали о возможности существования несмещенной линии, связанной с рассеянием на всей кристаллической решетке.

Когда я рассказал эту историю Бруно, он сказал, что знал Хоутерманса как активного немецкого коммуниста: «Он, как и Георгий Димитров, был обменен в 1933 г. на каких-то германских агентов». Я был очень удивлен, так как у нас всегда писалось, что Димитрова фашисты были вынуждены выпустить из тюрьмы после его победы на Лейпцигском процессе. «Как, вы ничего не знали об этом? — сказал Бруно. — Ну тогда считайте, что я ничего вам не говорил». (По-видимому, это был широко известный «секрет» Коминтерна, который Бруно тем не менее считал для себя не вправе разглашать.)

Много горя доставила всем нам, любившим и почитавшим Бруно, его обострившаяся со временем болезнь. Приезжая в Дубну, я всегда заходил к Бруно поговорить о физике и о «жизни». Однажды я застал его расстроенным. На одной из конференций докладчик приписал идею нейтринных осцилляций каким-то другим людям, и подобные ссылки появились уже в нескольких работах. Я посмеялся над этим, сказав, что его приоритет всем известен, но лучшим и конструктивным ответом на подобные происки было бы написание обзора, например в «УФН», об истории нейтринной физики. Бруно ответил, что

подумает над этим, и действительно написал очень интересную и полезную статью. При расставании он сказал: «Вы же знаете, что я никогда не заботился о приоритетах. Просто я нездоров и поэтому нервничаю».

Бруно очень стеснялся своей болезни, этой «трясучки», как он говорил, которая особенно обострялась, когда он волновался. «Надо же было, чтобы именно эта болезнь привязалась к такому красивому и гармоничному человеку, как Бруно», — слышал я от многих. Мигдал устроил ему несколько сеансов у знаменитой Джуны, и Бруно, несколько смущаясь, говорил, что он почувствовал после них некоторое облегчение. Он, конечно, не верил ни в какую магию, но явно отмечал эффект ее психологического воздействия и массажа. Зря только она сказала ему, что у нее такие пальцы, что она может почувствовать нейтрино. Это его разочаровало.

Последний разговор мой с Бруно состоялся по телефону в самом конце июля 1993 г., за день до его отъезда из Рима в Москву. Бруно рассказывал о Европейской конференции по физике частиц, о выступлении на ней Л. Б. Окуня, которое ему очень понравилось: «Лев Борисович совершенно прав. Закрытие SSC — это удар не только по физике, но и по всей науке, культуре и цивилизации». Через три недели Бруно должно было исполниться 80 лет, и мы с друзьями думали, как лучше это отметить. Я не знал, останется ли Бруно на это время в Италии или приедет в Дубну, но он сказал, что завтра вылетает в Москву. «Я, правда, несколько простужен и плохо себя чувствую, но решил не отменять поездку», — добавил он. Перед его днем рождения я узнал от дубненских товарищей, что Бруно категорически против устройства какого-либо празднования юбилея и просил не приезжать. Я послушался, поскольку это было желание Бруно, но потом очень жалел: друзья все-таки собирались. Вскоре после этого Бруно не стало.

Я считаю подарком судьбы, что мне довелось встретиться и долгие годы дружить с этим удивительным, великим человеком.

Ж.Лаберриг-Фролова [26]
Университет им. Пьера и Марии Кюри, Париж

Бруно Понтекорво и Париж

Накануне Второй мировой войны, в конце тридцатых годов, в лаборатории Фредерика Жолио-Кюри, в Коллеж де Франс, безусловно, все знали имя и работы Бруно Понтекорво. Те, кто работал в лаборатории перед войной, хорошо помнили его.

Пребывание в Париже

С 1936 по 1940 г. Бруно Понтекорво работал с Фредериком Жолио-Кюри в Институте радия, в Коллеж де Франс и в лаборатории атомного синтеза в Иври[27]. Бруно Понтекорво приехал из Рима, где работал с Энрико Ферми после окончания в 1932 г. Римского университета. Он был самым молодым, но не менее блестящим в этой замечательной группе «парней с улицы Паниперна»[28] и внес существенный вклад в столь бурное развитие нейтронной физики.

Работы Бруно Понтекорво по замедлению нейтронов и их захвату ядрами принесли ему премию Министерства национального образования, что давало возможность поработать за границей. Посоветовавшись с Энрико Ферми, Бруно Понтекорво выбрал Париж и работу у Фредерика Жолио-Кюри. Там он продолжает исследование замедления нейтронов и их захвата ядрами и публикует работы «О происхождении неоднородности излучения при захвате нейтронов ядрами» и «О рассеянии моноэнергетических нейтронов протонами».

Работы по ядерной изомерии

Бруно Понтекорво интересовался также ядерной изомерией. В 1917 г. Ф. Содди высказал предположение о существовании этого явления, и первым известным примером был изомер урана X — уран Z, открытый О. Ганом в 1921 г. (сегодня мы знаем, что это два β-радиоактивных изомера 234Pa). Долгое время полагали, что ядерная изомерия — явление исключительно редкое. Но после открытия в 1934 г. Ирэн и Фредериком Жолио-Кюри искусственной радиоактивности были предприняты попытки получить радиоактивные изотопы бомбардировкой стабильных элементов различными частицами; так были найдены многочисленные случаи ядерной изомерии, первым из которых был 80Br, обнаруженный И. В. Курчатовым и др. После этого интерес к ядерной изомерии возрос.

В Париже Бруно Понтекорво работал над этой темой практически в одиночку. Конечно, он пользовался ценными советами своего второго учителя Фредерика Жолио-Кюри, о чем позднее рассказывает в своих автобиографических заметках.

В 1936 г. К. Вайцзеккер предложил механизм, объясняющий метастабильность возбужденного изомерного состояния: он предположил, что угловой момент первого возбужденного уровня отличается на много единиц от момента основного состояния.

Немного позднее, в 1937 г., Фредерик Жолио-Кюри организует в Париже «Конгресс дю Пале де ля Декуверт»[29]. Там Бруно Понтекорво выдвигает качественные соображения «Относительно возможного существования β-стабильных изомеров», которые затем приводят его к открытию этих изомеров. Уже здесь проявилось то, что характеризует все научное творчество Бруно Понтекорво: для него теория не является абстракцией, он умеет делать конкретными теоретические заключения и, обладая выдающимися качествами экспериментатора, разработать до мельчайших деталей фундаментальные эксперименты.

Много лет спустя, в 1984 г., по случаю празднования пятидесятой годовщины открытия искусственной радиоактивности, Бруно Понтекорво опишет обстоятельства, условия и атмосферу этих исследований по ядерной изомерии. Ниже следует резюме, извлеченное мною из статьи «Некоторые ранние исследования по ядерной изомерии».

Бруно Понтекорво выдвигает идею, заключающуюся в следующем: поскольку не наблюдается испускания γ-лучей при переходе из возбужденного изомерного состояния в основное, то

здесь должна иметь место сильная внутренняя конверсия этих лучей; следовательно, нужно искать электроны конверсии. Последние имеют маленькую энергию, в связи с чем их трудно детектировать; в этом, по-видимому, и заключается причина того, что указанный процесс еще не изучен. Он предсказывает также, что многие не очень легкие ядра могут быть возбуждены до этих метастабильных состояний. Кроме того, Бруно Понтекорво выдвигает гипотезу о том, что должны существовать β-стабильные изомеры, впрочем, весьма редкие. Эти изомеры особенно интересны, поскольку излучение, испускаемое при переходе, «не маскируется» β- и γ-лучами. Таким образом, изомерия может быть лучше исследована; внутренняя конверсия сопровождается испусканием рентгеновских лучей, анализ которых представляет исключительный интерес для интерпретации изомерии.

Для детектирования излучения малой энергии Бруно Понтекорво конструирует цилиндрические счетчики Гейгера — Мюллера диаметром 2 мм и длиной 40 мм с пятимикронной алюминиевой стенкой, заполненные воздухом при атмосферном давлении. Эту технику он изучал вместе со своими флорентийскими друзьями Дж. Бернардини, Д. Бочарелли и Дж. Оккиалини.

Изомеры могут быть получены либо в ядерных реакциях, либо в радиоактивных распадах. Бруно Понтекорво выбирает индуцированные медленными нейтронами реакции, которые он хорошо знает. В качестве мишени он использует родий, который, как и бром, является хорошим кандидатом для такого исследования. Выбор обусловлен причиной чисто сентиментальной. В Риме он работал над радиоактивностью родия, индуцированной нейтронной бомбардировкой, причем эта радиоактивность служила индикатором нейтронов. Бруно Понтекорво обнаружил два периода полураспада — 44 с и 4,2 мин (позже он расскажет, что пробежал по меньшей мере 100 км с радиоактивным родием).

С помощью «рудиментарного» метода измерения поглощения и простой установки (источники нейтронов Rn + Be, тонкие мишени из родия и тонкостенные гейгеровские счетчики) он установил, что мягкая компонента обусловлена излучением от внутренней конверсии, сопровождающей переход изомерного состояния в основное состояние родия с периодом полураспада 4,2 мин, тогда как период полураспада 44 с соответствует β-распаду 104Rh с переходом в основное состояние 104Pd.

В этом исследовании родия Бруно Понтекорво думал использовать кадмий в качестве подложки источника. Он знал, что бомбардировка кадмия медленными нейтронами не приводит

к интенсивной радиоактивности. В то же время подготовительные эксперименты, в которых можно было наблюдать очень мягкое излучение, показали, что при бомбардировке быстрыми нейтронами кадмиевая подложка становилась радиоактивной с периодом полураспада T = 50 мин. Как показал химический анализ, проведенный вместе с М. Доде, эта радиоактивность была обусловлена изотопом кадмия. Испускаемое излучение было приписано β-стабильному изотопу кадмия, причем этот изотоп получался не путем захвата нейтрона, а в реакции (n, nγ) без захвата быстрых нейтронов. Эта реакция была известна Бруно Понтекорво еще со времени его работы в Риме, когда он изучал неупругое рассеяние быстрых нейтронов в свинце. Совместно с М. Доде он представляет работу «О радиоэлементе, образованном в кадмии под воздействием быстрых нейтронов».

Это был первый пример изомера, возбужденного быстрыми нейтронами.

Ядерная фосфоресценция

Бруно Понтекорво предположил, что другим способом получения β-стабильных изомеров может служить облучение мишени рентгеновскими лучами, энергетический спектр которых непрерывен, но с энергией ниже порога развала ядра; тогда трансмутация ядра мишени невозможна и не происходит рождения радиоактивных изотопов, излучение которых мешало бы наблюдению мягких электронов. В таком случае эксперимент является более «чистым». Высокие уровни ядра возбуждаются чем-то вроде ядерной «флюоресценции», и испускание «флюоресцентных» γ-лучей может оставить ядро в метастабильном состоянии, которое детектируется по излучению, сопровождающему изомерный переход.

В 1939 г. вместе с А. Лазаром он ставит эксперимент в лаборатории атомного синтеза в Иври, руководимой Ф. Жолио-Кюри. Используется рентгеновская трубка типа Браша — Ланге с энергией около 3 МэВ. Облучая индиевую фольгу, они получают β-стабильный изомер 115In с периодом полураспада 4 часа.

Мечта Бруно Понтекорво исполнилась: эффект открыт, получены возбужденные состояния других элементов. Этот эффект очень понравился Фредерику Жолио-Кюри, и он дает ему название «ядерной фосфоресценции». Бруно Понтекорво представляет в Академию наук работу «Ядерная изомерия, образованная рентгеновскими лучами непрерывного спектра».

Он посылает эту статью Э. Ферми, своему первому учителю, который только что получил Нобелевскую премию и находится в США. В ответ Э. Ферми присылает ему свои «горячие поздравления в связи с блестящими результатами этого исследования», что доставляет Бруно Понтекорво большое удовольствие: он ведь был убежден, что если Ферми и испытывает к нему некоторое уважение, то исключительно как к специалисту по теннису.

За работы по ядерной изомерии Б. Понтекорво удостоен премии Карнеги — Кюри. В статье, опубликованной в журнале «Nature», он дает оценку этим исследованиям.

Работы, сделанные в Париже, ярко характеризуют стиль Бруно Понтекорво: культура, элегантность, динамизм, но также жизнерадостность и юмор. Он любил — и с какой серьезностью! — придумывать и осуществлять эксперименты и в то же время, по его собственному выражению, обожал «заниматься альпинизмом, быстро забираясь на верхушку очень высокого импульсного генератора».

Друзья в Париже

В Париже у Бруно Понтекорво завязывается крепкая дружба в первую очередь с супругами Жолио-Кюри, а также со многими другими: молодым Полем Эренфестом, Робером Валеном, Бертраном Гольдшмидтом и Пьером Оже (с двумя последними он встретится в Чок-Ривере[30] в 1942 г.). Все сохранят к нему искренние дружеские чувства и будут часто вспоминать о нем, говоря: «Ни с кем в жизни я так не смеялся, как с Бруно». Бруно Понтекорво также навсегда останется преданным другом.

Итак, Париж — блестящий период его научной жизни. Но не только. Именно в этом городе, который он всегда находил «таким симпатичным», определилась его судьба, его назначение. Именно здесь он, молодой блестящий итальянец, влюбленный в физику и в теннис, посвящает себя идеалам гуманизма. Этим идеалам он останется верным навсегда. Именно в Париже он женился на молодой шведке Марианне Нордблом, в Париже родился первый из трех сыновей — Джиль.

В период с 1936 по 1940 г. международная обстановка была тревожной. В окружении Жолио-Кюри и особенно рядом со своими итальянскими друзьями, политическими эмигрантами, Бруно Понтекорво не мог оставаться пассивным перед грозной опасностью фашизма.

В июне 1940 г. Франция оккупирована немцами. Семья Понтекорво вынуждена покинуть Париж. Это — массовое бегство, исход. Молодой Бруно Понтекорво, гуманист, пацифист, идет навстречу своей судьбе, которую он связывает с будущим мира.

Связи после 1944 г

После окончания Второй мировой войны Бруно Понтекорво возобновляет контакты с Фредериком Жолио-Кюри. Они обмениваются письмами.

В сентябре 1945 г. из Монреаля, где он работает в Государственном комитете по исследованиям, Бруно Понтекорво пишет:

«Дорогой господин Жолио,

…Я только что принял господина Бутри, который передал мне ваше предложение приехать к вам работать сейчас. Как вы знаете, я очень люблю работать с вами и в Париже, и я надеюсь, что в будущем мне представится возможность поработать в Париже. Но сейчас мне нельзя покинуть лабораторию в Монреале, потому что я участвую в работе, которую хочу и должен закончить. В любом случае благодарю вас за столь лестное приглашение и надеюсь, я повторяю, что в будущем смогу поработать в Париже…».

Фредерик Жолио-Кюри, верховный комиссар по атомной энергии, пишет ему 20 февраля 1946 г.:

«…Таким образом, мы надеемся когда-нибудь снова увидеть вас, и смею вас заверить, что вы оставили здесь чувства глубокой симпатии, и каждый из нас высоко ценит ваши моральные и научные качества…».

Затем 27 апреля 1946 г.:

«…Я часто думал о вас и о том удовольствии, которое доставляло мне ваше присутствие в лаборатории Коллеж де Франс… Мы были бы рады видеть вас в нашей группе, как и раньше, в Коллеж де Франс в удобное для вас время. Могу заверить, что вы оставили здесь самые приятные воспоминания и что для меня было бы большой радостью снова работать с вами…».

20 мая 1946 г. Бруно Понтекорво пишет снова:

«…Я поздравляю вас и ваших коллег с успехом, а также с тем, что вы хотите работать только в том направлении ядерной науки, которое идет на благо человечества. Все физики хотели бы, чтобы быстрее исчезли научные секреты и барьеры. Я благодарю вас также за столь приятные слова, сказанные в мой адрес; как вы знаете, у меня сохранились самые лучшие воспоминания о времени, которое я провел в Париже, работая в вашей лаборатории, и я рассматриваю как большую привилегию возможность снова поработать в Париже. В настоящее время я еще очень занят работой в Канаде и Англии…».

Визит в лабораторию

В 1949 г. Бруно Понтекорво посетил лабораторию Ф. Жолио-Кюри. Он провел семинар, и там я впервые увидела человека, о котором все, кто знал его, вспоминали с восторгом и которого Ф. Жолио-Кюри называл своим лучшим учеником. Он рассказывал о захвате К-мезона аргоном-37, без бумажек, очень сосредоточенно, целиком погруженный в тему семинара. Он быстро ходил взад-вперед в столь характерной для него манере.

Да, культура и элегантность — качества, свойственные Бруно Понтекорво. Я не знала тогда важности К-захвата аргоном-37 и метода, изобретенного Бруно Понтекорво для детектирования нейтрино, которым он посвятит большую часть своего научного творчества и для которых он откроет так много способов исследования. Немного позднее, в воскресенье, в Со[31] у Ирэн и Фредерика Жолио-Кюри я снова увидела Бруно Понтекорво с женой Марианной. Было много гостей, он разговаривал с друзьями, но также, с самым серьезным видом и ласково, с маленькими детьми, которым он показывал, как умеет «клаксонить» с помощью ладоней.

Тогда я еще не знала, что 9 лет спустя, в 1958 г., Фредерик Жолио-Кюри отправит меня на восемь месяцев в Дубну, в Лабораторию ядерных проблем. В нашей лаборатории мы начали интересоваться физикой элементарных частиц, и надо было войти в курс того, что происходило в крупных центрах вокруг больших ускорителей. Спасибо Венедикту Петровичу Джелепову, директору Лаборатории ядерных проблем, что он решил направить меня в группу Бруно Понтекорво.

Возможно, именно из-за того, что я приехала из Парижа, из той лаборатории, где он был счастлив, Бруно Понтекорво сделал все, чтобы наше пребывание прошло как можно лучше. Я говорю «наше», потому что приехала в Дубну со своей дочерью Анн, которой тогда было пять лет. Здесь я узнала, что культура и элегантность Бруно Понтекорво сочетается с исключительными человеческими качествами (не говорили ли его родители, что Бруно самый добрый из их детей!).

Таким образом, именно Бруно Понтекорво руководил моими первыми шагами в физике высоких энергий, в физике элементарных частиц. Его внимание по отношению ко мне с тех пор никогда не ослабевало. Как и многие, я обязана ему тем, о чем много лет спустя в Риме сказал Дж. Сальвини: самое замечательное, что Бруно Понтекорво умел дать своим ученикам, — это научить их верить в себя.

В мае 1958 г. Фредерик Жолио-Кюри прибыл с визитом в Москву. Он провел один день в Дубне, и здесь учитель и его ученик встретились снова, и с большой радостью. Чтобы убедиться в этом, достаточно взглянуть на фотографию, где Фредерик Жолио-Кюри встречает Бруно Понтекорво перед административным зданием Объединенного института ядерных исследований. Тогда Бруно Понтекорво не знал, что он еще вернется в Париж, в Коллеж де Франс, но много позже, в 1989 г., т. е. через 31 год.

Фредерик Жолио-Кюри умер 14 августа 1958 г., через несколько месяцев после визита в Дубну. Бруно Понтекорво был глубоко потрясен этой преждевременной кончиной и с большой сердечностью выразил свои соболезнования.

Я вернулась во Францию за несколько дней до этого, зная, что Фредерик Жолио-Кюри хотел бы, чтобы я продолжила исследования в той области физики, которой начала заниматься в Дубне.

Связи Бруно Понтекорво с Парижем никогда не прерывались: переписка, регулярные визиты и работа в Дубне физиков нашей лаборатории. В течение многих лет приезжал в Дубну его друг Робер Вален. Научные обмены становились более частыми, так же как и международные встречи. В различных лабораториях мира проводились исследования по идеям Бруно Понтекорво: он открыл путь для развития физики нейтрино. Сегодня группа из моей лаборатории участвует в исследованиях осцилляций нейтрино в эксперименте «NOMAD», проводимом в ЦЕРНе.

В июне 1984 г. дочь Ирэн и Фредерика Жолио-Кюри Элен Ланжевен, работающая в области ядерной физики, побывала в Дубне. Ее сфотографировали в том самом месте, где за 26 лет до этого ее отец встретил Бруно Понтекорво. Сияет радостью лицо Элен при виде того замечательного человека, которого она, будучи ребенком, знала в Париже.

История науки

Бруно Понтекорво интересовался историей науки. Он оставил ценные свидетельства, касающиеся физики элементарных частиц.

В 1982 г. с 21 по 23 июля мы организовали в Париже международный симпозиум «История физики элементарных частиц: 1930-1950-е годы (некоторые открытия, концепции, обоснования)». Чтобы представить свои свидетельства, собрались физики с самыми громкими именами. Этот симпозиум стал событием. Труды его часто цитируются.

По причинам, не имеющим отношения к науке, Бруно Понтекорво не смог воспользоваться приглашением своих коллег приехать в Париж. И все-таки в некотором смысле он был с нами. Действительно, он прислал на симпозиум свою работу «Детство и юность нейтринной физики: некоторые воспоминания». Это важный документ, где Бруно Понтекорво воскрешает в памяти некоторые события, которые оказали глубокое влияние на его научное творчество в том, что касается нейтрино, их детектирования, свойств мюонов и понятия слабого взаимодействия.

Присутствующие на симпозиуме физики весьма сожалели, что Бруно Понтекорво нет с ними, широко цитировали его работы. Они выразили свое уважение и дружеские чувства, адресовав ему почтовую открытку.

В 1984 г. в торжественной обстановке праздновали пятидесятую годовщину открытия искусственной радиоактивности Ирэн и Фредериком Жолио-Кюри. К большому сожалению участников и организаторов этого торжества, Бруно Понтекорво не смог приехать. Тем не менее он внес свой вклад, прислав статью «Некоторые ранние исследования по ядерной изомерии». Эта статья опубликована в специально изданной по случаю торжества книге.

Снова в Париже

Бруно Понтекорво приехал в Париж в 1989 г., всего на одну неделю. 11 сентября он провел семинар в Коллеж де Франс — «Встречи с физиками предвоенного периода (Ферми, Майорана, Жолио…), автобиографические заметки».

По прибытии в Париж Бруно Понтекорво с большой теплотой и уважением был принят профессором Коллеж де Франс Марселем Фруассаром, директором лаборатории, преемником на этой должности Луи Лепренса-Ренге, который, в свою очередь, унаследовал этот пост от Фредерика Жолио-Кюри.

Оказавшись в местах, где 50 лет назад он провел столь значимые в его жизни годы, Бруно Понтекорво был так взволнован, что это удивляло даже его самого.

Как и раньше, он говорил элегантно и темпераментно, но, мучимый болезнью Паркинсона, уже не ходил взад-вперед. Этот семинар также представляет важный вклад в историю физики элементарных частиц.

Немногим более двух лет спустя, в декабре 1991 г., Бруно Понтекорво снова приехал в Париж, опять по приглашению профессора Пьера Леманна, Робера Валена и Бертрана Гольдшмидта. Как всегда, ему была приятна встреча с талантливыми людьми, встреча, которая дарит радость взаимного обогащения.

Он посетил Пале де ля Декуверт, в торжественном открытии которого когда-то принимал участие. Был счастлив, когда обнаружил там камеру Вильсона, сконструированную еще Полем Эренфестом. Бруно Понтекорво присутствовал на заседании Академии наук, где встретил Луи Мишеля и Луи Лепренса-Ренге, с которым ему когда-то так нравилось беседовать о физике, а также играть в теннис. На набережных он снова увидел букинистов.

Довольно долго он беседовал с историком Мишелем Пино, который писал диссертацию о Жолио-Кюри. Среди прочего Бруно Понтекорво рассказал ему, как в 1936 году Фредерик Жолио-Кюри попросил его провести совместно эксперимент. Речь шла о том, чтобы посмотреть, идентичны ли β-лучи электронам. Эксперимент не дал убедительных результатов, и публикации не было. И все-таки этот эксперимент имел некоторое значение, если говорить о реакциях типа обратного β-распада; именно по ассоциации с идеей этого эксперимента Бруно Понтекорво в 1947 г. предложил обратную реакцию: нейтрино + $^{37}Cl \rightarrow {}^{37}Ar$ + электрон, значение которой для детектирования нейтрино

хорошо известно.

Несколько дней спустя, после посещения выставки «Макс Эрнест» в Бобуре[32], Бруно Понтекорво сидел в кафе, казалось, забыв обо всех делах. И вдруг он захотел внести уточнения в текст, который был предоставлен ему Мишелем Пино после беседы. Этот документ, очень интересен: видно, с какой тщательностью и до малейших деталей точно писал Бруно Понтекорво. Те, кто работал с ним, хорошо знают эту его манеру… Во время этого пребывания в Париже Бруно Понтекорво остановился в гостинице «Пантеон» на площади Пантеон, по соседству с гостиницей «Великие люди», той самой, где он жил с 1936 по 1940 г. и где, как он любил шутить, ему доводилось «сталкиваться» с Андрэ Мальро. Бруно Понтекорво безусловно забавляло название этой, в те времена весьма скромной, гостиницы, расположенной недалеко от Института радия и Коллеж де Франс.

Бруно Понтекорво снова был в том районе Парижа, где когда-то определилась его судьба. Он старался понять логику своего выбора. Но надо ли искать логику для объяснения его поступков, всегда определяемых благородным порывом, неизменной преданностью гуманистическим идеалам? Все близкие Бруно Понтекорво хорошо знали, насколько глубоко заботила его судьба человечества.

Бруно Понтекорво по-прежнему с нами, его близкими и друзьями. То же самое можно сказать и про его коллег-физиков. С 9 по 13 августа 1995 г. во Флоренции был проведен блестящий международный симпозиум в честь трех великих физиков, ушедших от нас практически в одно время: Бруно Понтекорво, Бруно Росси и Джузеппе Оккиалини, творчество которых связано с Наукой и Гуманизмом. Я присутствовала на этом симпозиуме и могу засвидетельствовать всю глубину уважения и любви, выраженных в адрес Бруно Понтекорво сообществом физиков.

По случаю этого симпозиума в церкви Санта-Кроче во Флоренции была открыта мемориальная доска с барельефом, посвященная Энрико Ферми, «который первым дал человечеству ядерную энергию». Мемориальная доска помещена неподалеку от саркофагов Галилея и Микеланджело.

Новые поколения физиков продолжат научные исследования по направлениям, открытым Бруно Понтекорво.

Развивающаяся физика возьмет с собой и творчество Бруно Понтекорво.

Г. Пираджино
Туринский университет, Италия
Встречи с Бруно Понтекорво [33]

В Дубну я впервые приехал 25 октября 1968 г. в научную командировку от Национальной академии деи Линчеи. Эта дата мне хорошо запомнилась, так как это был день рождения моей матери, приехавшей вместе со мной в Москву, чтобы встретиться со своими родственниками. В аэропорту меня встречал Джиль Понтекорво, старший сын Бруно. В суматохе встречи я не разобрал его имени, и он садистски заставил меня говорить на моем ломаном русском языке, пока через три дня я наконец не узнал, что он понимает итальянский. Скорее всего, он унаследовал от отца вкус к шуткам.

Другие написали лучше, чем я, о великой изобретательности Бруно. У меня же остались воспоминания о приятных семейных встречах, во время которых мы говорили в основном об Италии, о подводной охоте и о теннисе, первые две темы обсуждались со мной, а третья — с моей женой, которая была очень сильным игроком второй категории (по итальянской классификации) и которую Бруно очень уважал. Он рассказывал мне, как в паре с Баччи выиграл в свое время чемпионат Италии и как в том же году он был финалистом в одиночном разряде. Он сокрушался, что впоследствии, когда он перешел во вторую категорию, он не смог больше достичь хороших результатов. Наш университет закончил Вьери Баччи, тоже хороший теннисист, который, случайно узнав о моей встрече с Понтекорво в Дубне, сказал мне, что он сын того старого партнера Бруно по парной игре. Бруно попросил у меня адрес Баччи и написал ему.

Один из любимых смешных рассказов Бруно касался приезда в СССР профессора Ватагина, нашедшего убежище в Италии во время революции в России. Вместе с Бруно Ватагин совершил поездку на озеро Байкал, где два выдающихся физика встретились с местным культурным обществом. Они были представлены изумленной публике как советский академик Бруно Максимович Понтекорво и итальянский академик Глеб Васильевич Ватагин!

В 1974 г., вместе с Ю. А. Щербаковым, ученым секретарем ОИЯИ и начальником советской группы, с которой мы сотрудничали, и экспериментатором группы М. М. Кулюкиным, Джиль впервые посетил Италию. Его поездка прошла под знаком

исключительной осмотрительности, дабы избежать «провокаций», которых, как мне сказали, боялись в КГБ. После того как был взломан лед, поездки наших советских коллег участились. Только Щербаков, неосторожно оскорбивший советника советского посольства по науке просьбой поднести чемоданы, больше не получал советской визы для поездки в Италию. Хорошее развитие совместных экспериментов в Дубне и Фраскати, а также отсутствие невозвращенцев и скандалов успокоили службы контроля, и наконец наступил великий момент, когда Бруно первый раз вернулся из России в Италию — для участия в празднествах, организованных в Риме в 1978 г. в честь семидесятилетия его друга и коллеги Эдоардо Амальди. Невозможно описать толпу фотографов и журналистов, собравшихся в аэропорту Фьюмичино по случаю приезда Бруно. С трудом, с помощью сотрудников советского посольства и моей (а я выполнял роль охранника), он сумел сесть в автомашину посольства и избежать таким образом многочисленных поклонников. Потом, в более спокойной обстановке, в Институте физики, он мне подарил коробку кубинских сигар, которую я до сих пор храню… Сколько глупостей было написано в газетах и журналах в связи с Бруно! Одна из многих такая: Бруно Понтекорво, находясь в СССР, поменял свое имя на Бруно Максимович.

К сожалению, к этому времени появились первые симптомы серьезной болезни, которая сопровождала его до самой смерти. Это была легкая дрожь в руках, которая иногда мешала писать на доске. Некоторое время спустя, в Дубне, он мне сказал, что у него признали болезнь Паркинсона и что он умирает. Понтекорво даже вычислил энергию, которую затрачивало его тело на дрожь, которая и привела к тому, что он заметно и быстро похудел. В течение нескольких лет дрожь распространилась на все тело; он мог передвигаться только быстро или на велосипеде.

Улучшению душевного состояния Бруно наверняка не способствовало типичное для того времени малоприятное событие, которое произошло в 1980 г. Синхроциклотрон ОИЯИ был остановлен на реконструкцию, и наша коллаборация представила в ЦЕРН проект эксперимента для изучения антипротон-ядерного взаимодействия на новом ускорителе LEAR в ЦЕРН. По причинам, упомянутым выше, профессор Щербаков не смог приехать в Женеву, чтобы вместе со мной принять участие в представлении проекта, который, к нашему великому удовольствию, был принят.

Среди процессов, которые мы намеревались изучить, были и «реакции Понтекорво», предсказанные им в 1957 г. Естественно, я

держал советских коллег в курсе всех событий и уже с энтузиазмом собирался в Дубну, чтобы договориться о создании экспериментальной установки. В течение шести месяцев, по совершенно непонятным причинам, мне не приходило из ОИЯИ приглашение, без которого я не мог получить советскую визу. Объяснение мне дал во время конференции по ядерной физике, проводившейся летом в Либлице, недалеко от Праги, мой друг и коллега из Дубны Виктор Сидоров, изучавший ядерные фотоэмульсии, экспонированные в институте SIN в Швейцарии. (К сожалению, Сидоров, по приезде на конференцию перенесший сердечный приступ, вызванный высокой летней температурой, вернувшись в Дубну, умер от инфаркта.) В ответ на мои сетования по поводу того, что я не получал официального приглашения от ОИЯИ, он мне рассказал о неприятном событии, произошедшем в Дубне: профессор Щербаков, чья подпись стояла под предложением эксперимента, представленным мною в ЦЕРН и уже одобренным, поддался внезапному приступу зависти (болезни очень распространенной и опасной) и решил разрушить нашу коллаборацию, которая уже провела двенадцать счастливых лет, так как он сам не имел бы возможности ездить в ЦЕРН. Щербаков воспользовался классическим методом доноса в органы контроля на членов собственной группы, которые, по его утверждению, собирались ездить за границу только для обогащения (что считалось очень серьезным нарушением в те времена!), на меня — за выполнение роли «волшебного волынщика», а также на Бруно, который нас поддерживал и тем самым «мешал» хорошей работе и гармоничному существованию советской группы. Как во времена Венецианской республики, обвинения были восприняты со всей серьезностью. Когда же смехотворность доносов была признана, назначили нового руководителя советской группы. Естественно, все это было результатом борьбы, которую повел Бруно Понтекорво и в которой потребовался весь его авторитет. Когда я наконец приехал в Дубну, меня любезно попросили ответить на множество вопросов, занимавших три страницы и прекрасно отражавших обвинения, относящиеся ко мне. После этого момента все пошло хорошо, и эксперимент был выполнен отлично. На сетования своих молодых коллег, несправедливо обвиненных, Щербаков отвечал: видите, как изменились времена, раньше вы были бы арестованы без обсуждения, а теперь вы на свободе. Прошел уже год, как Щербакова не стало.

Напротив, большое удовлетворение Бруно доставило признание, высказанное в 1988 г. Ледерманом, Шварцем и Штейнбергером по случаю вручения им Нобелевской премии.

Бруно показывал мне письма, полученные от них. Естественно, он, чьи заслуги получили аналогичную оценку в Советском Союзе, признавал, что не мог быть включен в группу, получившую премию в Стокгольме, даже при соответствующих заслугах. Полным ходом шла «перестройка», и впервые на моей памяти Бруно высказался по поводу прошлого режима: «Чего же ты хочешь, Гуидо, я, наверно, был кретином, но я ничего не сознавал».

В мае 1990 г., возвращаясь из похода в лес за грибами, Бруно упал с велосипеда и сломал бедренную кость. По просьбе его сыновей я начал немедленно действовать, чтобы организовать его скорейшую транспортировку в Рим. При содействии профессора Спаллоне он через три дня прибыл в пункт назначения, и ему сделали успешную операцию; для Бруно начался этап выздоровления в кругу римских родственников. Месяц спустя после операции он находился во Фреджене, где его посетил молодой врач. Так оказалось, что это был один из медиков, встречавших Бруно в аэропорту Фьюмичино и участвовавших в его транспортировке в клинику Спаллоне. Врач был очень рад видеть Бруно в нормальном состоянии и сказал, что он никак не мог ожидать, что Бруно выдержит хирургическое вмешательство, которому его подвергли, учитывая его плохое состояние по приезде в Рим. По этой причине Бруно впоследствии настаивал в разговорах со мной на том, что я спас ему жизнь! В благодарность второй сын Бруно, Тито, пригласил меня на ужин с отцом в кавказский ресторан. Темы, которые обсуждались, были современными и касались будущего России, а также проблемы самого Тито. Кандидат географических наук, океанолог, Тито, став конезаводчиком, выращивающим чистокровных лошадей и построившим по своей личной выдающейся инициативе две прекрасные конюшни, естественно, стал причиной множества случаев зависти в Дубне и даже некоторых актов нетерпимости по отношению к нему. Однако недоброжелатели и клеветники нашли в нем камень, о который сломали зубы… Пока Тито рассказывал нам разные случаи, Бруно предложил за него тост, содержавший, думаю, высшую похвалу из его уст. Намекая на озорное прошлое Тито, он сказал следующее: «Некоторые люди рождаются хорошими и таковыми остаются, некоторые люди рождаются хорошими, но со временем портятся, все это весьма распространено; есть люди, рождающиеся плутами и остающиеся таковыми, и это нормально; но бывают редчайшие случаи, когда человек рождается проказником и впоследствии становится хорошим; за это я и поднимаю тост».

Внезапно сраженный вирусным воспалением легких, с

которым его ослабленный организм был не в силах бороться, Бруно скончался в возрасте восьмидесяти лет. На похоронах профессор Фидекаро выразил соболезнование от имени Итальянского физического общества и от многочисленных друзей, я — от имени посольства Италии, с чьей помощью урна с прахом Бруно была впоследствии перевезена в Рим.

Я очень сильно ощущаю отсутствие Бруно — великого, доброго друга.

П. Стролин
Неаполитанский университет, Италия

Хиросима никогда не должна повториться

Я не принадлежу к поколению физиков, знавших Понтекорво во времена улицы Паниперна; я принадлежу к тому обществу, которое после войны слышало о его «исчезновении» (так тогда казалось) в Советском Союзе и обо всех вопросах, связанных с возможной передачей научных и других секретов; так или иначе нужно подчеркнуть, что был нанесен серьезный удар по гордости западных стран. Впоследствии я стал физиком, и моя профессия позволила мне узнать о его деятельности, а потом и познакомиться с ним лично, после чего я увидел его в совсем ином свете. Многим же события, связанные с ним, все еще представляются покрытыми тайной.

Прежде чем обратиться в этом взволнованном воспоминании к событиям, приведшим к нашему знакомству, нужно отметить, что согласно авторитетным свидетельствам он, по всей видимости, никаких ядерных секретов с собой не взял: в то время его работа касалась космических лучей. «Аномалия» западного ученого, мигрирующего в сторону Советского Союза, должна рассматриваться с точки зрения значительно более сложной, чем точка зрения политической приверженности и возможного шпионажа, которая навязывалась обществу в ту эпоху большой международной напряженности.

Чтобы понять, насколько неоднозначным было положение специалиста по ядерной физике после Хиросимы и Нагасаки, и, соответственно, чтобы увидеть другой возможный аспект вопроса, процитирую отрывок из дневников Эдоардо Амальди. Он приводит случай, который не похож, но, возможно (это только мое собственное предположение), имеет некоторые не слишком отличающиеся корни.

«В то время мы провели встречу, на которой решили прервать всякие исследования, связанные с делением, и направить ограниченные человеческие возможности, имеющиеся в нашем распоряжении, на решение совершенно иных проблем.

Причиной такого решения было убеждение, к которому мы пришли, что любая задача, имеющая отношение к делению, могла

стать интересной с точки зрения создания оружия, а мы не желали оказаться вовлеченными в работу такого рода».

Что касается лично меня, то мое восприятие Понтекорво значительно отличалось от восприятия широкой публики в начале семидесятых годов, когда я был приглашен в Дубну (аналог ЦЕРНа в Советском Союзе) на семинар по физике. В те дни Понтекорво не было в Дубне, но, что поразительно, я все время чувствовал его присутствие; оно постоянно ощущалось через влияние его личности Человека, Ученого и Учителя. Как говорил Эдоардо Амальди, где бы ни появлялся Понтекорво, он был выдающимся послом Италии. Так было и в Советском Союзе. Я напомню малоизвестный, вероятно, аспект, относящийся к стилю жизни членов группы с улицы Паниперна, которые были очень тесно связаны друг с другом как в научной работе, так и вне ее, особенно в спорте. Бруно Понтекорво был одним из пионеров подводного спорта в Советском Союзе, послом Италии и в этой деятельности.

Мое личное знакомство с Бруно Понтекорво произошло, когда он вернулся в Италию, уже имея болезнь Паркинсона: как изменилось его физическое состояние по сравнению с фотографией, показанной мне в Дубне, на которой был запечатлен атлетически сложенный человек, активно занимающийся подводной охотой! Но какая поразительная ясность и научная глубина! Я его встречал на научных семинарах. Его присутствие было удивительно. Кто не знал его и видел, как он входил, и те усилия, которые дрожь, вызванная болезнью, заставляла его прилагать для участия в семинаре, бывал поражен его вопросами. Они всегда вскрывали существо проблемы с простотой и глубиной самой истины. Слишком часто сегодня в науке ограничиваются пространными рассуждениями, пропуская фундаментальные вещи, обходя науку ради науки. Его вопросы служили большим уроком моральным, а не только научным.

Я не смог приехать в университет в Ферраре, когда ему было присвоено почетное звание honoris causa. Я написал ему, и в ответ он прислал мне приглашение, хранимое мной и вызывающее осязаемый образ человека. Совсем простой лист рукописного текста, но сколько тепла и уважения в небольшом количестве слов…

В заключение два слова о физике, связывающей Понтекорво и физиков Неаполя. Более двадцати лет тому назад Бруно Понтекорво высказал гипотезу о так называемом явлении «осцилляций нейтрино», связанном с их ненулевой массой, в отличие от нулевой массы, принятой во всех современных теориях. Важность этого явления и его следствий в физике не

перестает расти с тех пор, и предпринимаются трудные эксперименты для его подтверждения. На это направлено измерение потока солнечных нейтрино в Национальной лаборатории Гран-Сассо, а также эксперимент, в подготовку которого на пучке нейтрино в ЦЕРН (Женева) вносит свой вклад группа из Неаполя. Все это служит волнующим свидетельством уважения памяти Бруно Понтекорво.

notes

Примечания

1

Выступление 5 декабря 1990 г. во время посещения улицы Панисперна по случаю первой годовщины смерти Эдоардо Амальди // Знание (Sapere), № 3 (935), март 1991 г, с. 30–32. Перевод с итальянского Д. Б. Понтекорво.

2

Э. Персико. Scientia, 90, 316, 1955, *Э. Персико.* Scientific American, 207, 181, 1962.

Л. Ферми. Атомы у нас дома. М. Изд-во иностр. лит., 1958.

Ф. Разетти. Science, 1921, 449.

5

Э. Сегре. Библиографическое введение к книге: Собрание научных работ Энрико Ферми, том I, ст. XVIII, The University of Chicago Press, 1961.

Б. Понтекорво. Энрико Ферми (1901–1954) (к годовщине смерти. — УФН, т. 57, 1955, вып. 3, 349–359.

7

По словам Амидея, выделенные в этом письме фразы Ферми-мальчика были дословно записаны им во время беседы.

8

По словам Э. Персико, одной из этих книг был многотомный курс Хвольсона: мне помнится, что сам Ферми как-то сказал, что основные сведения в области общей и экспериментальной физики он почерпнул именно из этого курса. — *Б. П.*

Э. Персико. Scientia, 90, 316, 1955.

10

Больше всего ему нравилась поэма «Неистовый Роланд» Ариосто. Небезынтересно заметить, что Ариосто был любимым поэтом другого великого итальянского физика — Галилея.

11

Э. Сегре. Библиографическое введение к книге: Собрание научных работ Энрико Ферми, том I, ст. XVIII, The University of Chicago Press, 1961.

Э. Сегре. Библиографическое введение к книге: Собрание научных работ Энрико Ферми, том I, ст. XVIII, The University of Chicago Press, 1961.

Э. Персико. Scientific American, 207, 181, 1962.

Э. Персико. Scientific American, 207, 181, 1962.

15

Э. Сегре. Библиографическое введение к книге: Собрание научных работ Энрико Ферми, том I, ст. XVIII, The University of Chicago Press, 1961.

16

Э. Сегре. Библиографическое введение к книге: Собрание научных работ Энрико Ферми, том I, ст. XVIII, The University of Chicago Press, 1961.

17

Э. Сегре. Библиографическое введение к книге: Собрание научных работ Энрико Ферми, том I, ст. XVIII, The University of Chicago Press, 1961.

18

Э. Сегре. Библиографическое введение к книге: Собрание научных работ Энрико Ферми, том I, ст. XVIII, The University of Chicago Press, 1961.

19

Выступление в Центральном лектории Политехнического музея 31 мая 1973 г. на вечере памяти И. Я. Померанчука // Воспоминания о И. Я. Померанчуке. М: Наука, 1988, с. 109–114.

20

Лекция, прочитанная на юбилейном заседании IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 8 июня 1982 г // Нейтрон, к пятидесятилетию открытия: Сб. статей. М.: Наука, 1983, с. 240–244.

21

Как указал впоследствии В. А. Кузьмин, нейтрино от основной солнечной реакции могут быть зарегистрированы по вызываемым ими переходам ядер галлия в ядра германия. Для регистрации этих нейтрино понадобилось 30–60 тонн галлия В 1946 г., когда сама идея регистрации даже реакторных нейтрино казалась фантастикой, трудно было думать о таких количествах галлия, вся мировая добыча которого была на уровне десятка тонн. Только расширение масштабов физических исследований позволило осуществить эти опыты в двух подземных лабораториях: Баксанской нейтринной лаборатории в совместном российско-американском эксперименте SAGE и в лаборатории Гран-Сассо в Италии.

22

В откровенных разговорах Бруно не раз возвращался к теме испанской войны Это была его молодость и начало пути, который он избрал. Вместе с тем протекшее с тех пор время и реальная действительность заставляли его по-новому переосмысливать происходящее тогда, развенчивая многие идеалистические представления его молодости. Однажды, когда в середине шестидесятых годов я зашел навестить Бруно, лежавшего в академической больнице, он перечитывал роман «По ком звонит колокол». «В свое время многие люди из интербригад, участники испанских событий, очень обижались на Хемингуэя за эту книгу, — сказал он, — но теперь я вижу, что это просто гениальная книга». За что же, спрашивается, обижались? За объективное описание того, что зверства совершались обеими сторонами, а не только фашистами? За описание нравов, царивших в верхушке республиканского командования и интербригад, причем настолько достоверное, что узнаешь многих действующих лиц, скажем, Эренбурга? Обо всем этом могли не знать молодые идеалисты антифашистской борьбы и не хотели в это поверить. Потому и обижались. Пожив в Союзе, Бруно понял, что все так и было. Однако какие-то сомнения у него все же оставались. В Дубне в это время учился очень приятный молодой человек — сын генерального секретаря итальянской компартии Луиджи Лонго. По совету Бруно он посещал мои лекции по слабым взаимодействиям. «Я все не решаюсь спросить его, — говорил Бруно, — знает ли что-нибудь он о том времени. Ведь Лонго был заместителем комиссара интербригад. Неужели Марти был действительно таким, каким изобразил его Хемингуэй?»

23

Здесь возможна неточность. Мне рассказывали, что эта фраза была произнесена другим лицом на инструктаже в Госкомитете по атомной энергии и отнюдь не сопровождалась смехом.

И. Г. Покровская — секретарь Б. М. Понтекорво.

25

Ф. Г. Хоутерманс — известный немецкий физик, первым («с подачи» Г. А. Гамова) высказавший идею о том, что энергия звезд имеет термоядерное происхождение. В 1933 г. приехал в СССР и работал в Харькове Позднее был арестован органами НКВД как шпион, а в 1939 г., после заключения договора с Германией, был передан гестапо и очутился уже в фашистской тюрьме. Оттуда он был освобожден по ходатайству немецких физиков и оказался в лаборатории фон Арденне, входившей в почтовое ведомство. Работая там, Хоутерманс указал реальный путь создания атомной (плутониевой) бомбы, а также рассмотрел возможность создания водородной. (К счастью, проекты не были приняты из-за его политической неблагонадежности.) После войны жил в Швейцарии.

Перевод с французского Т. Д. Блохинцевой.

27

Пригород Парижа. (*Здесь и далее примечания переводчика.*)

28

Так называли группу Э. Ферми. Институт физики Римского университета находился на улице Паниперна.

29

Пале де ля Декуверт — центр популяризации науки.

30

Ядерный центр в Канаде.

31

Пригород Парижа.

32

Культурный комплекс с большой библиотекой и выставочными залами в центре Парижа.

Перевод с итальянского Д. Б. Понтекорво.